

Fysiska institutionen
Avdelningen för Elektronik
Lunds Universitet
1979



JRM2

ETT JORDRESISTANSMÄTANDE INSTRUMENT

av

Paul Krill

1981

Rapport AE1-79

JRM2 - ett jordresistansmätande instrument

PAUL KRILL



Fysiska institutionen
Avdelningen för Elektronik
Lunds universitet

Rapport AE1-79

FÖRORD

Denna rapport beskriver resultatet av utvecklingsarbetet med ett jordresistansmätande prototypinstrument avsett för markundersökningar. Arbetet är till stor del ett uppdragsarbete åt ATLAS COPCO ABEM AB.



SAMMANFATTNING

En av de metoder som används vid undersökningar av jordskorpan sammansättning, grundar sig på att man sänder ut en välbestämd likström genom ett markavsnitt och mäter det resulterande spänningsfallet över en del av avsnittet. Denna rapport beskriver ett instrument som är avsett för denna typ av mätningar. Mätinstrumentet mäter enligt en princip som delvis skiljer sig från de som normalt används i denna typ av instrument. Principen möjliggör kraftig undertryckning av störande likspänningar och rampspänningar som jämte nyttosignalen ansluts till mätینگängen. Även inverkan av tidslinjär drift hos mätadelens skalfaktor kan minskas kraftigt.

Mätadeln har fyra mätområden: 1, 10, 100 och 1000V. Mätresultatets upplösning för små signaler motsvarar 10 mikrovolt, men då resultatet utgörs av summan av 3 termer, så är den korrekta upplösningen ett par gånger större. Onoggrannheten för denna del är efter trimning mindre än 1%. Mätadeln är uppbyggd kring en spänning-frekvensomvandlare (VFC) som kan omvandla både positiva och negativa spänningar. Detta har åstadkommit genom att laddningsavtappningsdelen i en laddnings-balanserande VFC kompletterats med en separat laddnings-påfyllningsdel, som ombesörjer laddningsbalansen då insignalen är negativ. I mätadeln registreras antalet pulser under 0,5, 2, 8 eller 32 sekunder. Dessutom kan instrumentet medelvärdesbilda över 4 och 16 delmätningar. Avsikten med dessa alternativ är inte att öka mätupplösningen, utan att minska inverkan från olika störningar.

I samma fysiska enhet som mätadeln finns en lågeffektsändare, som kan sända ut 0,2-20mA. Utspänningen är härvid maximerad till 170V, och onoggrannheten är mindre än 1%. Vid svårare mätningar, kan lågeffektsändaren ersättas av en strömsändare med högre uteffekt som också utgör en egen fysisk enhet. Denna kan med samma noggrannhet sända ut strömmar i området 0,2-500 mA. Härvid är utspänningen begränsad till 500V, och uteffekten till 50W. Eftersom alla instrumentdelar styrs av ett programverk i anslutning till mätadeln, måste högeffektsändaren anslutas till denna med en kommunikationskabel.

Vid resistansmätningar, som är den huvudsakliga uppgiften för instrumentet, återges resultatet inte som den uppmätta spänningen, utan som ett beräknat resistansvärde. I den skalningsprocedur som utför resistansberäkningen, kan upplösningen minska med som mest en faktor 5.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sid	Avsnitt
2	- FÖRORD
3	- SAMMANFATTNING
4	- INNEHÅLLSFÖRTECKNING
5	1 INLEDNING OCH BAKGRUND
7	2 INSTRUMENTBESKRIVNING
11	3 BLOCKSCHEMA FÖR INSTRUMENTETS ELEKTRONISKA STRUKTUR
13	4 MÄTFUNKTIONER
15	5 FUNKTIONSBESKRIVNING FÖR INSTRUMENTETS BLOCK
15	5.1 Ingångssteg
15	5.2 Spänningsfrekvensomvandlare
17	5.3 Digital bearbetning
18	5.4 Räkare och displayenhet
19	5.5 Lågeffektsändare
21	5.6 Strömförsörjning, huvudenheten
22	5.7 Avkodningsdel
23	5.8 Programverk
24	5.9 Larm och indikeringsfunktioner
25	5.10 Kommunikationssystemet
25	5.10.1 Uppgifter
26	5.10.2. Huvudenhetens kommunikationsdel
27	5.10.3 Slavenhetens kommunikationsdel
28	5.11 Högeffektsändare
29	5.12 Högspänningsaggregat, slavenheten
30	5.13 Strömförsörjningsdel, slavenheten
31	5.14 Avkodning och omkopplare/tryckknapp,slavenheten
33	6 RESULTAT
35	7 REFERENSER
36	DETALJRITNINGAR

1 INLEDNING OCH BAKGRUND

Vid undersökningar av jordskorpan sammansättning och karaktär används flera indirekta metoder. En av dessa går ut på att man undersöker hur resistiviteten varierar i djup- eller sidled. I kombination med annan information, kan dessa resistivitetsuppgifter indikera bl a grundvattennivåer, salthalter, samt förekomster av sprickzoner och malmkroppar.

Vid en av metoderna för jordresistansbestämningar, sänder man en välbestämd ström genom ett markavsnitt och mäter det resulterande spänningsfallet över en del av avsnittet. Kvoten mellan uppmätt spänning och utsänd ström utgör ett mått för summan av konduktanserna hos de delar av strömbanorna som är belägna mellan elektroden. Genom att kombinera resultaten från mätningar där avståndet mellan sändarelektroden varierats systematiskt, kan man bestämma resistiviteten hos olika djupt belägna skikt.

I den signal som mät donet skall behandla och analysera, ingår störningar som orsakas av bl a elkraftnät, solvindar, åsknedslag, kemiska och fysiska förlopp i marken samt, fenomen i övergången mellan mätelektrod och mark. Störningarna kan grovt karakteriseras som : likspänningar, drift, samt låg- och högfrekventa växelspänningar.

Vid användandet av tidigare mätinstrument har man före varje mätning manuellt kompenserat för likspänningarna med hjälp av en potentiometer. Driftens inverkan har man sökt minimera genom att utföra mätningarna snabbt. De lågfrekventa ($f < 10\text{Hz}$) störningarna har visat sig genom att det visar utslag som anger mätvärdet, har varierat kring ett medelvärde. Genom att skatta visar utslagets medelvärde, har man försökt kringgå denna störtyps inverkan. De högfrekventa störningarna har dämpats till försumbar nivå med analoga filter.

I en tidigare rapport från Avd för Elektronik (ref 1), redogörs för en förstudie och en enkel prototyp till ett jordresistivitetmätande instrument. Erfarenheterna härifrån visar, att man med ett enkelt

skillnadsmättningsförfarande kan eliminera inverkan från störande likspänningar. Vidare visar det sig att inverkan från de lågfrekventa signalerna bör kunna minskas genom elektronisk medelvärdesbildning av mätsignalen.

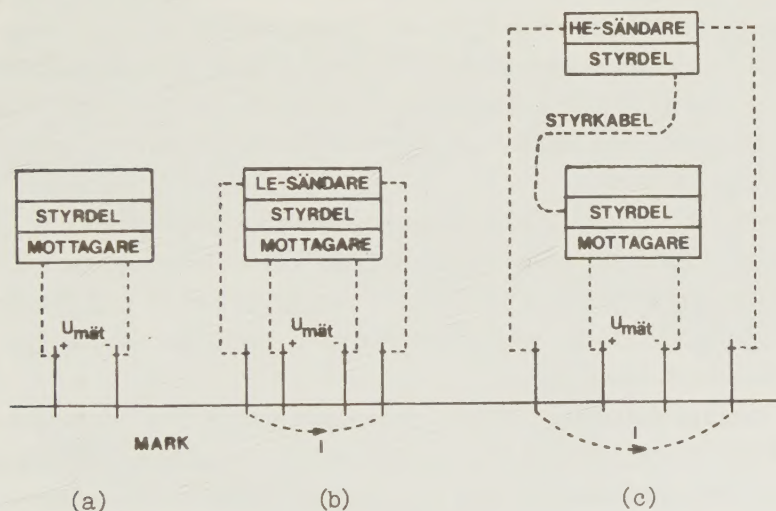
Detta projekt är till stor del ett utvecklingsarbete åt Atlas Copco ABEM AB. Uppgiften har huvudsakligen varit att i samråd med ABEM utveckla och bygga ett prototypinstrument, vars egenskaper och funktioner skulle kunna utgöra en utgångspunkt för ABEM:s nästa generation av jordresistansmätande instrument. Arbetet har också i efterhand omfattat förenklandet och modifierandet av vissa delar. Här redogörs för den slutliga versionen av resp delar. En noggrannare analys av mätprinciperna bakom projektet redovisas i ref 2.

En av ABEM:s förutsättningar för arbetet var att de digitala delarna skulle konstrueras med standardlogikkretsar av CMOS-typ. En annan var att högspänningsaggregatet till högeffektsändaren vid serieproduktion förmodligen skulle köpas färdigbyggt från specialistföretag.

I detta avsnitt beskrivs dels hur mätinstrumentet används, dels instrumentets egenskaper. Fysiskt sett består utrustningen av:

- en huvudenhet, som består av styrdel, mottagare/spänningsmätare och lågeffektströmsändare
- en slavenhet, som består av en högeffektströmsändare
- sändarelektroder
- mätelektroder
- kablar

I figur 1 visas hur instrumentet kopplas upp för olika mätfall. Instrumentet kan bl a användas som voltmeter (fig 1a), varvid endast spänningsmätardelen utnyttjas. Då resistansmätningar (fig 1b) skall utföras, kombineras mät delen med den inbyggda lågeffektsändaren. Om högre uteffekter behövs, utnyttjas istället den fristående högeffektsändaren (fig 1c). I figur 2 återges en bild på de två fysiska delarna. På huvudenhetens panel finns:



Figur 1. (a) Spänningsmätning. (b) Resistansmätning. (c) Resistansmätning med extra hög uteffekt.

- Banankontakthylsor för anslutning av sänd och mätkablar.
- Omkopplare för val av mätfunktion
- Omkopplare för val av utsänd strömstyrka.
- Omkopplare för val av antal delmätningar i mätningen.
- Omkopplare för val av mättid.
- SÄND- och MÄT-knappar, bl a avsedda för start av mätningar.
- Kontaktdon för anslutning av kabel till slavenheten.
- Display för visning av mätresultat.
- Tre mätsortindikerande lysdioder.
- En strömindikerande lysdiod.

På slavenhetens panel finns:

- Banankontakthylsor för anslutning av sändkablar.
- Banankontakthylsor som är anslutna till NiCd-ackumulatorena.
(Avsedda för batteriprov.)
- Omkopplare för val av strömstyrka.
- SÄND-knapp, avsedd för utprovning av strömstyrka.
- Kontaktdon för anslutning av kabel till huvudenheten.
- Strömindikerande lysdiod.

Normalt är instrumentet inaktivt, varvid displayen visar resultatet från föregående mätning. Som hjälp vid inställningen av instrumentets funktions- och mätparameteromkopplare finns ett par hjälpfunktioner.

- Om den signal som är ansluten till mätینگängen är för stor, blinkar displayen som indikation på detta. Härigenom kan man prova ut lämpligt mätområde.
- Om man trycker ner SÄND-knappen på panelen, så indikerar en lysdiod om korrekt ström går ut. (Högeffektsändarens strömindikerande lysdiod är parallellkopplad med en summer som ljuder samtidigt som lysdioden lyser). Med hjälp av denna kan maximal utström enkelt bestämmas.
- Vid resistansmätningar väljer operatören ett av fyra resistansområden: 1 ohm, 100 ohm, 10 kilohm eller 1 megaohm. Med utgångspunkt från denna inställning och från den valda strömstyrkan avgör instrumentet hur stor mätspänning som kan förväntas, och ställer in motsvarande förstärkningsfaktor hos mät delen.

En spänningsmätning startas genom att MÅT-knappen trycks ner, medan en förlängningsknapp föreställer att både MÅT- och grundmätternas knappar trycks ner. En påbörjad mätning kan avbrytas innan den är slut, genom att någon knapparna trycks ner. De båda knapparna är motiverade av säkerhetsskäl. Om så önskas kan grundmättiden 2 sekunder förlängas med faktorerna 4, 16 eller 64 ggr, genom inställning med stöpslapparen. Vid inställning av spänningsskallan, kan man i instrumentet slå mäta och beräkna medelvärdet av 4 eller 16 mätningar.



Fig. 2. Instrumentet för mätningar.

Slavenheten/högeffektsändaren styrs från huvudenheten via en styrkabel. Då slavenheten är korrekt ansluten till huvudenheten, indikeras detta genom att slavenhetens summer och lysdiod tutar resp blinkar i lugn takt. Om inte, så är indikatorerna avstängda.

Om mätenheten överstyrs eller om sändaren inte kan hålla utströmmen konstant under ett mätförlopp, avbryts mätningen och felet indikeras. Avbrott pga överstyrningsfel indikeras med att displayen och den aktuella mätsortsindikerande lysdioden blinkar, medan strömfelsavbrott indikeras med de strömindikerande lysdioderna resp summern.

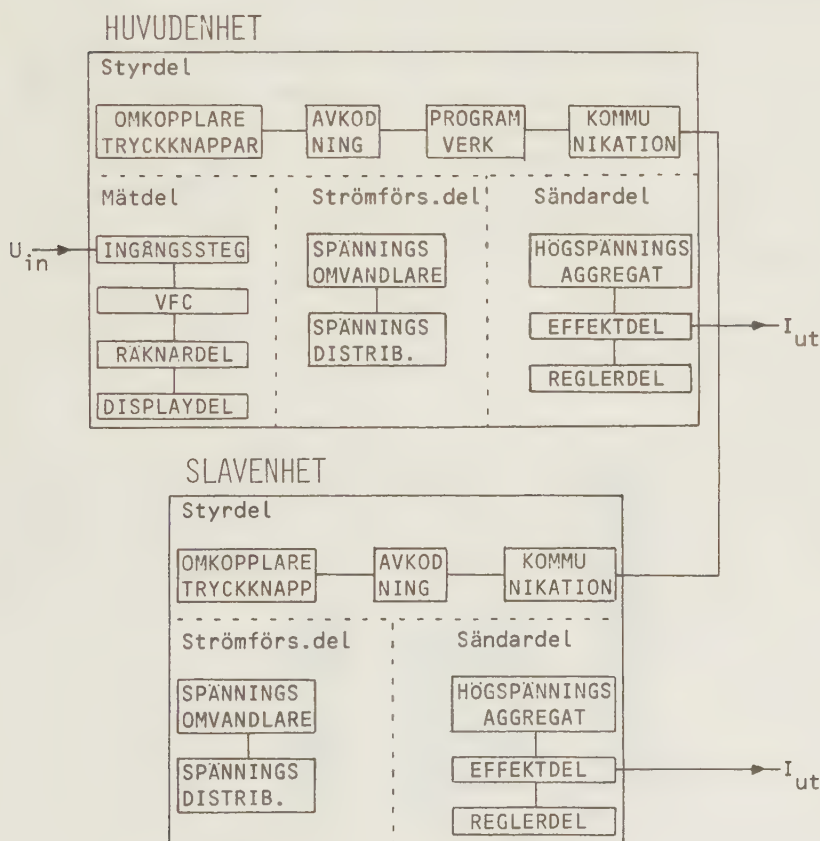
Mätdelen har fyra spänningsområden: 1, 10, 100 resp 1000 volt fullt utslag. I och för sig mäter enheten med som mest fem siffrors upplösning, men för att användaren inte skall missledas angående noggrannheten, så visas endast de tre mest signifikanta siffrorna på displayen. Vid små insignaler är upplösningen 10 mikrovolt, men eftersom resultatet är en summa av tre termer, så är den verkliga upplösningen ett par gånger större. Den absoluta onoggrannheten vid likspänningsmätningar är mindre än 1% av mätvärdet plus två enheter i den sista visade siffran. Avvikelserna mellan upprepade mätningar på en oförändrad signal samt olineariteten vid relativa mätningar, motsvarar i regel ett fel som är mindre än 1 promille på mätvärdet plus två enheter i sista siffran.

Lågeffektsändaren kan sända ut strömmar på 0,2 - 20 milliampere med en onoggrannhet som är mindre än 1 %. Den maximala utspänningen från sändaren är 170 volt. Högeffektsändaren kan med samma noggrannhet sända ut strömmar på 0,2 - 500 milliampere. Utspänningen och uteffekten är härvid begränsade till 500 volt resp 50 watt.

Kvoten mellan den uppmätta spänningen och den utsända strömmen benämns i dessa sammanhang "skenbar resistans". Med hjälp av de ovan specificerade instrumentdelarna, kan instrumentet ström-och spänningsmässigt sett mäta skenbara resistanser upp till 2 megaohm. På det känsligaste området är upplösningen 60 mikrohm.

3 BLOCKSCHEMA FÖR INSTRUMENTETS ELEKTRONISKA STRUKTUR

I figur 3 beskrivs instrumentets uppbyggnad med ett blockschema. Huvudenheten är ett komplett instrument, som då omständigheterna kräver större utsänd effekt, kan kombineras med en slavenhet. Hela systemet styrs av huvudenhetens styrdel, som med hjälp av ett avkodningsnät tolkar de av operatören inställda omkopplarna och aktiverade tryckknapparna. Dess programverk genererar en sekvens av tidsignaler, vilka synkroniserar de olika modulernas funktioner under mätförloppen. För överföring av information mellan huvud- och slavenheterna, finns kommunikationsdelar som överför signaler via en strömslinga.



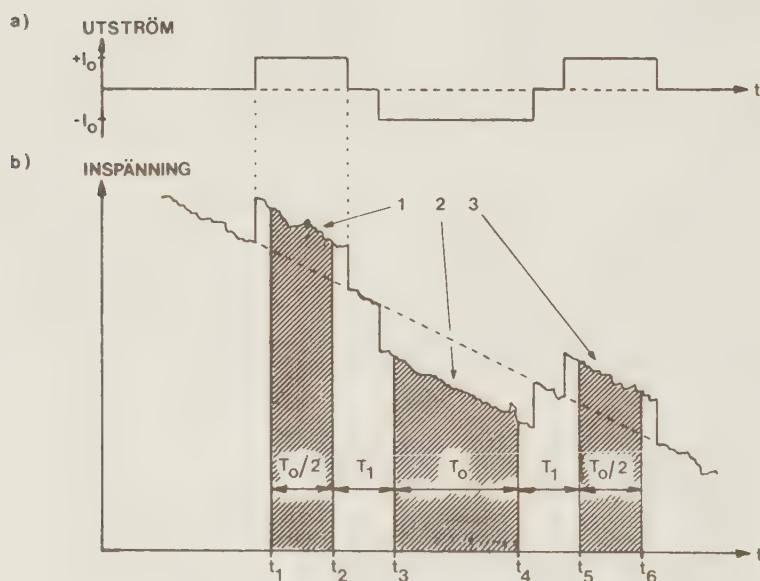
Figur 3. Blockschema för instrumentet.

I mätdelen anpassas mätspänningen med ett trepoligt lågpasfilter, en dämpsats och ett förstärkarsteg. Den analoga signalen omvandlas därefter i spänning-frekvensomvandlaren (VFC:n) till ett pulståg, som bearbetas och registreras i räknardelen. Resultatet och eventuella larm presenteras för operatören med displaydelen.

I huvudenhetens sändardels högspänningsaggregat omvandlas batterispänningen till 180 volt. Reglerdelen styr effektdelen så att rätt ström går genom marken.

För utprovning och inställning av lämplig strömstyrka, har slavenheten en egen strömomkopplare och SÄND-knapp. I övrigt styrs den helt av huvudenheten. På samma sätt som lågeffektsändaren har den högspänningsaggregat, effektdel och reglerdel.

De båda fysiska enheterna har DC/DC-omvandlare som bildar de erforderliga matningsspänningarna, och reläer som ansluter spänning till respektive block då behov finns.



Figur 4. a) Utsänd ström. b) Mätdelens insignal.

4 MÄTFUNKTIONER

Vid resistansmätningar skickar strömsändaren ut ett eller flera strömpulspaket, som är sammansatta som i figur 4a. Först sänds en positiv puls som är drygt $T_0/2$ sekunder lång ut, därefter en negativ puls med dubbel varaktighet, och slutligen ytterligare en positiv puls. Strömstyrkan på pulserna bestäms med strömomkopplaren på panelen. Mellan pulserna är sändaren avstängd en kort stund, för att polaritetsväxlingsreläerna inte skall skadas. De utsända strömpulserna resulterar i samtidiga spänningspulser mellan mätelektroderna. Dessa pulser kommer att överlagras på den störspänning som redan finns mellan mätelektroderna, såsom i figur 4b. För att bl a ingångsfiltret skall hinna ställa in sig, så integrerar mätenheten insignalen endast under de streckmarkerade intervallen i figuren. Under intervallen 1 och 3 registreras insignalen med verklig polaritet, medan polariteten inverteras under intervall 2.

Mätvärdet utgörs av summan av tre integraler, i vilka skalfaktorn proportionell mot tidbasens frekvens (Ref 5, sid VI-15). Om tidbasen driver linjärt med tiden enligt: $f = f_0(1+A \cdot t)$ erhålls för var och en av integralerna:

$$\text{Integral} = k \cdot U \cdot f_0 \int_0^t (1+A \cdot t) dt = k \cdot U \cdot f_0 (1+A \cdot t^2/2)$$

Tidbasen styr också programverket. Detta styr i sin tur mät delen, så att antalet pulser från VFC:n räknas under så lång tid som det tar för programverket att räkna N pulser från tidbasen. För denna del gäller :

$$N = f_0 \int_0^t (1+A \cdot t) dt = f_0 (1+A \cdot t^2/2)$$

Insättning av detta i integralen ovan ger:

$$\text{Integral} = k \cdot U \cdot N$$

Detta innebär att driften hos tidbasen inte påverkar skalfaktorn, varför mätvärdet inte påverkas av att tidbasen åldras eller driver med temperaturen. I referens 2 visas emellertid att med den mätprincip som används i detta instrument, kan mycket goda störundertryckningsegenskaper erhållas om tidbasen är mycket stabil. Därför bör en kristallstyrd tidbas vara att föredra i framtida konstruktioner.

En del av de störande spänningar som ansluts till mätdonet samtidigt med nyttsignalen, karakteriseras av att deras medelvärde minskar med ökande integrationstid (Jfr ref3), medan andra karakteriseras av att deras relativa bidrag till mätvärdet ökar då integrationstiden ökas. Som exempel på signaler av den första typen kan nämnas: vitt brus och periodiska störningar, medan störspänningar med ett exponentiellt tidsberoende är ett exempel på den andra typen. Exponentiella störningar kan bl a orsakas av mätelektroderna.

Om bidraget från elektrodstörningarna skall minskas, så bör delintegralerna trängas samman tidsmässigt. Ett sätt att samtidigt med detta erhålla en lång total integrationstid, är att bilda ett medelvärde av flera kompletta delmätningar. För att ge operatören möjlighet att välja störundertryckningsmetod och att använda olika typer av mätelektroder, så är instrumentet försett med omkopplare för val av integrationstid och antal delmätningar.

Då instrumentet används som voltmeter sänds självfallet inte några strömpulser ut. I stället korts sluts mätینگängen med ett relä under tidsintervall 2, vilket medför att inverkan av interna offsetspänningar minskas. Det erhållna mätvärdet motsvarar ett medelvärde av den spänning som är ansluten till mätینگängen. Ett specialfall på spänningsmätning erhålls vid automatisk batteritest, då ackumulatorerna ansluts till mätینگängen med ett relä.

5 FUNKTIONSBESKRIVNING FÖR INSTRUMENTETS BLOCK

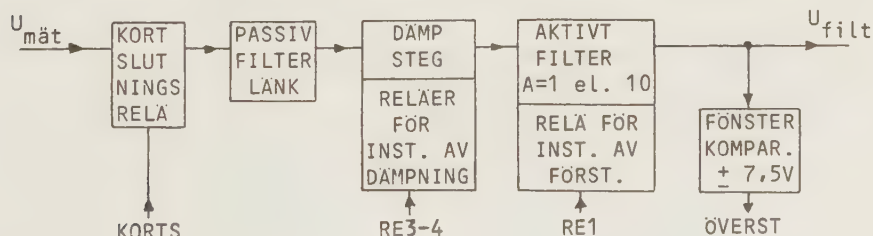
I detta kapitel beskrivs de olika blockens funktioner och väsentliga signaler. I regel beskrivs de styrda blocken före de styrande, eftersom signalerna mellan blocken oftast är naturligt förknippade med de styrda delarna.

5.1 Ingångssteget

Detta steg beskrivs i figurerna 5 och 21. I steget filtreras och förstärks/dämpas den analoga insignalen. Med de digitala signalerna: KORTS, RE1 och RE3-4 kan ingången kortslutas och stegets förstärkning/dämpning ställas in. Då den analoga signalen blir för stor, lämnar komparatorn en digital larmsignal: ÖVERST.

5.2 Spänning-frekvensomvandlare

Jfr med figurerna 6 och 22. Den använda omvandlaren (beskriven i ref 1) kan omvandla både positiva och negativa insignaler utan föregående likriktning. Den är uppbyggd kring en integrator som hela tiden integrerar en ström som är proportionell mot den analoga insignalen. Grundprincipen är att integratorns laddningsmängd och därmed dess utspänning hålls begränsad (idealt sett konstant). Så snart utsignalen passerar antingen den positiva eller negativa maxgränsen, styr en av de två komparatorerna antingen laddningspåfyllaren eller -avtapparen så att laddningsbalansen



Figur 5. Ingångssteget.

återställs. Påfyllaren och avtapparen tillför/bortför vid varje sådant tillfälle en standardiserad laddningsmängd Q_0 . Om en positiv insignal omvandlas under T sekunder till N_p tömningspulser, ger laddningsbalansvillkoret:

$$N_p \cdot Q_0 = 1/R \int_0^T U_{in}(t) dt \quad (R \text{ är angivet i fig 22.})$$

$$f_p = N_p / T = 1 / (Q_0 \cdot T \cdot R) \int_0^T U_{in}(t) dt$$

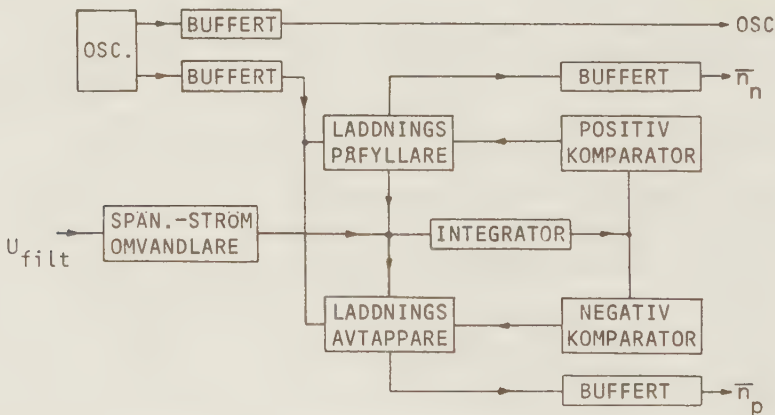
Man ser här att VFC:ns medelutfrekvens f_p är proportionell mot insignalens medelvärde. Om insignalen skiftar polaritet under pågående mätning, så gäller:

$$N_p \cdot Q_0 - N_n \cdot Q_0 = 1/R \int_0^T U_{in}(t) dt$$

$$(N_p - N_n) / T = 1 / (Q_0 \cdot T \cdot R) \int_0^T U_{in}(t) dt$$

I detta fall motsvaras insignalens medelvärde av skillnaden mellan antalet positiva och negativa pulser per tidsenhet.

Spänning-frekvensomvandlaren har visat sig vara mycket känslig för interferensfenomen, då oscillatorfrekvensen nästan är en övertton till omvandlarens utfrekvens. Denna känslighet har minskats dels med



Figur 6. Spänning-frekvensomvandlaren.

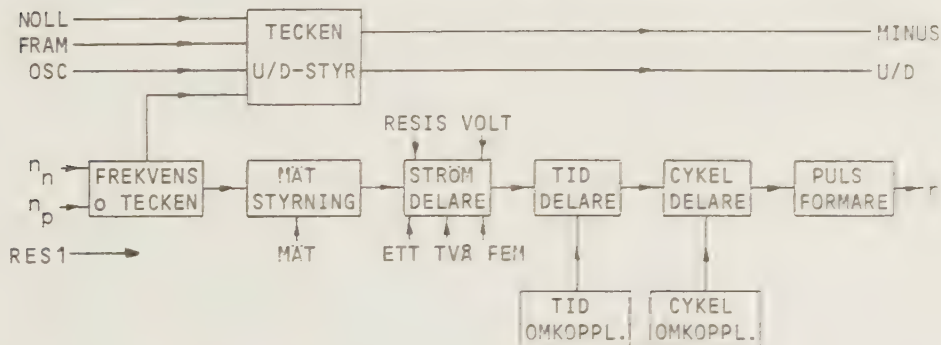
oscillatorns buffertsteg, dels genom att vissa delar av omvandlaren strömförsörjs från en egen 5-volts regulator. Denna spänningsnivå är dessutom väl lämpad för de använda switchtransistorerna.

Utöver att oscillatorn styr laddningspulsernas varaktighet, och därmed definierar omvandlarens skalfaktor, utgör dess utfrekvens tidbas för programverket.

5.3 Digital bearbetning

Detta block beskrivs i figurerna 7 och 23. I frekvens-teckendelen omvandlas de två pulstågen från VFC:n till ett pulståg och en teckensignal. I mätstyrdelen släpps pulserna igenom endast under de intervall då insignalen verkligen skall mätas. Detta styrs med signalen: MÅT. Blocket nollställs med RES1-signalen.

Om man utan meddelning mäter under förlängd T_0 -tid eller summerar pulserna från flera delmätningar, så kommer räknedelen att notta i motsvarande grad fler räknepulser. För att undvika denna förändring av skalfaktorn, så räknar instrumentet inte alla pulserna. Denna korrigering åstadkommes i Tid- resp Cykeldelarna. Mäts det under fyrdubbel T_0 -tid, så släpps bara var fjärde puls vidare till räknedelen osv. Meddelningsfaktorerna styrs med de omkopplare som också anger mättid och antal delmätningar åt programverket.



Figur 7. Digital bearbetning.

Vid resistansmätningar skall kvoten mellan mätspänning och utsänd ström visas för operatören. Så länge strömmens värde är 1 så när som på exponenten, är det enbart en avkodningsfråga om var på displayen som decimalpunkten skall placeras. När strömmen, som i vårt fall, även kan ha mantissan 2 eller 5 så behöver mätvärdet delas med 2 eller 5. Detta utförs i strömdelaren genom att endast varannan eller varfemte puls släpps igenom. Denna delare styrs med de digitala signalerna: EIT, TVÅ, FEM, VOLT och RESIS.

En invändning mot de här använda metoderna för skalning är att man förlorar upplösningsgrad genom att inte alla pulser bidrar till att nyansera mätvärdet. Då syftet med förlängd mättid eller medelvärdesbildning grundad på flera delmätningar inte är att öka upplösningen, så är invändningen inte relevant för dessa delare. För strömdelarens vidkommande är anmärkningen korrekt för de fall där upplösningen verkligen är för låg, vilket är ganska sällsynt enligt ref 4.

Vid inställning av räknekretsarnas upp/ner-inställning, beror valet på tre faktorer:

- om räknepulserna orsakas av positiv eller negativ insignal.
- om det nuvarande innehållet i räknarna är positivt eller negativt.
- om räknepulsernas tecken skall inverteras (Jfr avsnitt 4 om mätfunktioner).

Det bör dessutom observeras att då räknekretsarna räknar ner och når värdet noll, så skall de inte fortsätta till 99999, utan istället börja räkna uppåt. Samtidigt skall det momentana resultatets tecken skiftas. Dessa funktioner utförs i Tecken & Up/Down-styrdelen.

5.4 Räknare och displayenhet

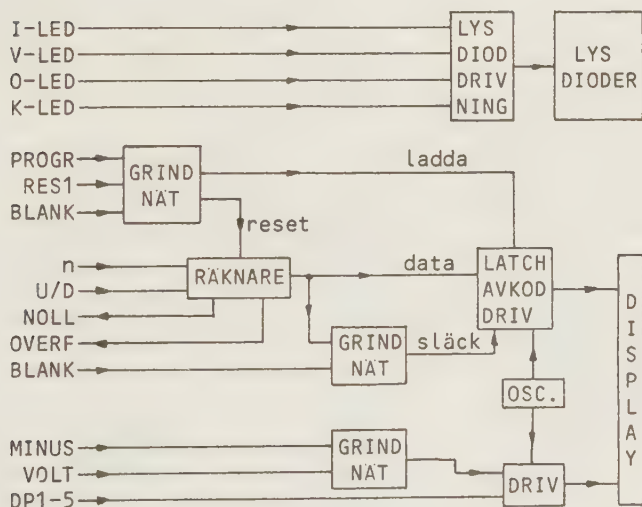
Jfr med figurerna 8 och 24. Före en mätning nollställs räknaren med RES1-signalen. Efter att denna har räknat mätningens n-pulser, överförs resultatet till latchen med PROG-signalen. Därpå avkodas och åskådliggörs latchens innehåll på displayen. Denna som är av

flytande-kristalltyp kräver drivning med växelspanning, varför den drivs med en oscillator och speciella drivkretsar. På displayen kan dessutom decimalpunkter och vid spänningsmätningar även resultatets tecken visas. Ett grindnät förhindrar att fler än 3 siffror visas på displayen, genom att de överflödiga minst signifikanta siffrorna undertrycks.

Som indikatorer utöver displayen, har instrumentet 4 lysdioder som anger mätvärdets sort och indikerar om korrekt ström går ut från sändaren. Om ett automatiskt mätförlopp avbryts pga överstyrning eller fel på utströmmen, så indikeras detta genom att lysdioderna och eventuellt även displayen blinkar. Displayen får att blinka genom att BLANK-signalen kopplas på och av.

5.5 Lågeffektsändaren

Lågeffektsändaren beskrivs i figurerna 9 och 25. I den första har den utsända strömmens bana markerats med grova linjer. Strömkällan

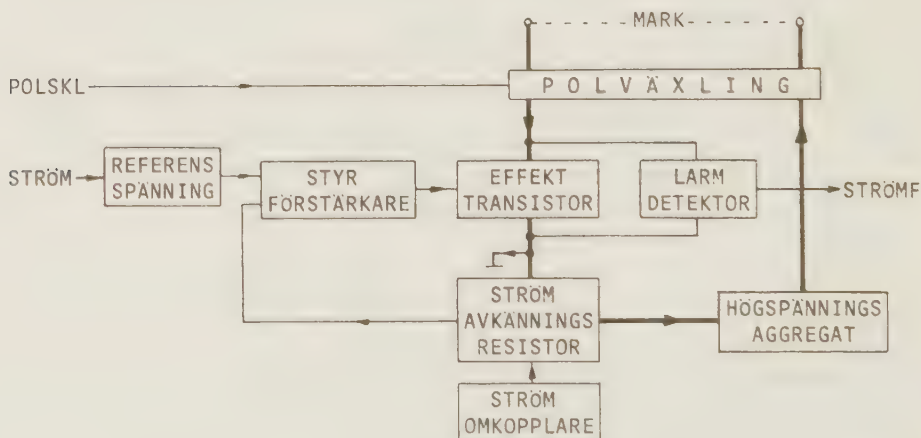


Figur 8. Räkare och displayenhet.

för sändaren utgörs av en DC/DC-omvandlare från Semiconductor Circuits Inc. Denna är normalt avsedd för drivning av plasmadisplayer, och lämnar 180V. Utströmmen regleras genom styrning av en effekttransistor som är seriekopplad med lasten och högspänningsaggregatet. Styrningen utförs av en förstärkare, som styr effekttransistorn så att spänningen över strömvägningsresistorn blir lika stor som den fasta referensspänningen. Med en omkopplare kan man ansluta olika vägningsresistorer, och därmed ändra utströmmen inom området 0,2-20 mA. Vid sändning kan strömmen pulsas enligt önskat mönster, genom att referensspänningen kopplas på och av med den digitala signalen STRÖM. Strömriktningen genom marken kan skiftas genom korskoppling med polväxlingsreleer, vilka styrs av POLSKL-signalen.

Om spänningen över serie-transistorn blir för låg, är det risk för att transistorn inte kan reglera strömmen på rätt sätt. Därför finns en krets som genererar en digital larmsignal, då transistorspänningen är låg och därmed strömmen genom marken osäker.

Eftersom styrströmmen genom effekttransistorns bas inte går genom lasten, får den inte heller gå genom vägningsresistorn. Därför

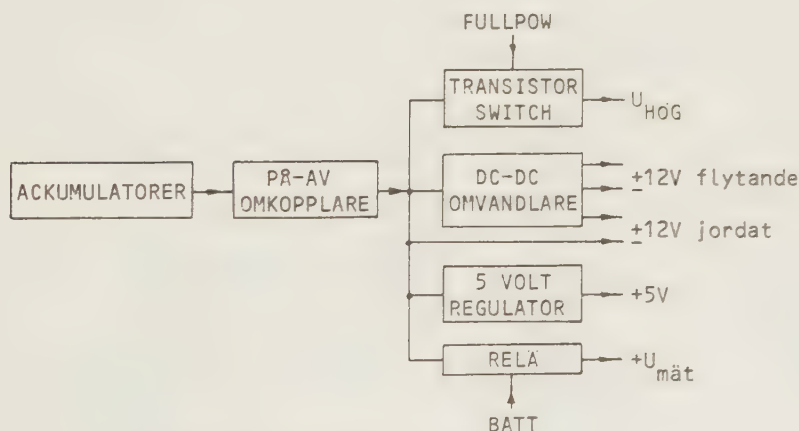


Figur 9. Lågeffektsändaren.

återförs basströmmen till drivstegets strömmatning, genom att strömbanan jordas mellan den effektupptagande transistorn och avkänningsresistorn.

5.6 Strömförsörjningsdelen

Jfr med figurerna 10 och 26. Instrumentet drivs med en 10-pack 1,25 volts NiCd-ackumulatorer, vilka ansluts till strömförsörjningsdelen med en omkopplare. I en DC/DC-omvandlare kompletteras batterispänningen med ytterligare tre 12-voltspänningar, så att två galvaniskt skilda ± 12 voltsystem erhålls. Det flytade av dessa strömförsörjer lågeffektsändarens styrdel och det andra försörjer resten av instrumentet. Skälet till denna dubblering är att även ett mycket litet läckage från sändaren till mätdelen kan störa mätningar. I en särskild regulator minskas ackumulatorspänningen till de 5 volt som utnyttjas i spänningfrekvensomvandlaren. Med BATT-signalen kan batterispänningen anslutas via ett relä till mätgången för provmätning. Då ström skall sändas ut, startas högspänningsaggregatet med en transistorswitch som styrs av signalen FULLPOW.



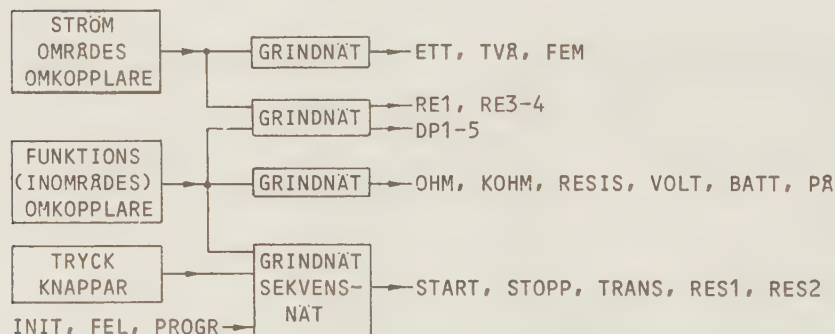
Figur 10. Strömförsörjningsdelen.

5.7 Avkodningsdelen

Jämför figurerna 11, 27 och 28. Både avkodningsnäten och det lilla sekvensnätet i denna del, är uppbyggda med CMOS-grindar. Två alternativ hade varit att antingen utföra avkodningen med ett EPROM eller med en FPLA-krets. Ett tredje alternativ hade varit att kombinera respektive omkopplares 12 varandra uteslutande signaler till en fyra bitars kod. Inget av dessa alternativ har ansetts som fördelaktigt då hänsyn tagits till ekonomi och effektförbrukning.

Avkodningen omfattar följande signaler:

- Decimalpunktplacering: DP1-5. Vid spänningsmätningar bestäms detta av valt inområde, medan det vid resistansmätningar dessutom beror på strömstyrkan. Jfr figur 27.
- Förstärkning/dämpning: RE1, RE3-4. Se decimalpunktplacering.
- Strömdelningsfaktorer: ETT, TVÅ, FEM. Dessa bestäms av strömvärdets mantissa, dvs av strömvalomkopplarens läge. Jfr avsnitt 5.3 om digital bearbetning, samt figur 28.
- Displaystyrning och måttypsignal: OHM, KOHM, VOLT, PÅ, RESIS och BATT. Dessa signaler beror enbart på valt inområde.
- Initierings- & stopp-signaler: STOPP, RES1, RES2, START och TRANS. Dessa signaler beror både på funktionsvalomkopplaren och tryckknapparna. Signalerna påverkas dessutom av de inkommande signalerna: PROGR, INIT och FEL.

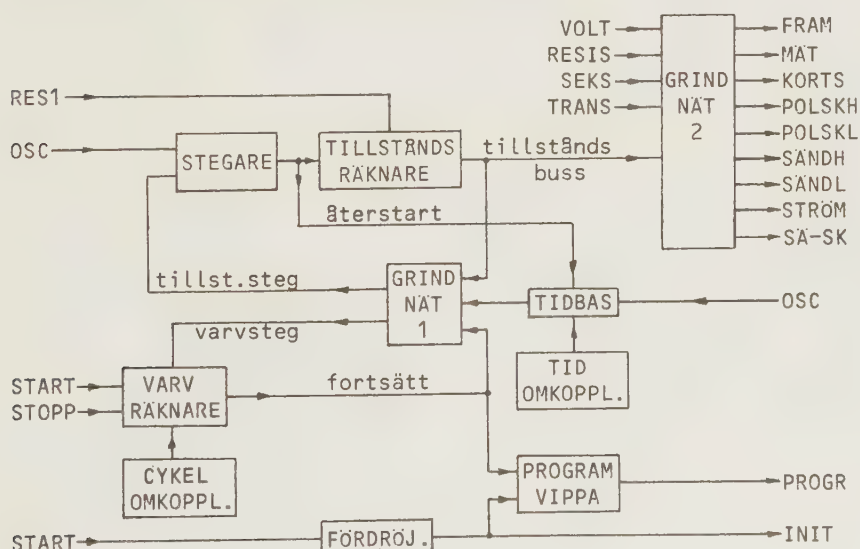


Figur 11. Avkodningsdelen.

5.8 Programverket

Jfr med figurerna 12 och 29. Under varje fullständig delmätning utför instrumentet ett grundprogram, som är indelat i 16 avsnitt. Under dessa utför instrumentets olika delar sina uppgifter: sänder ström, mäter insignalen, väntar, slår om polaritetsskiftningsreläet etc. Avsnitten är olika långa, beroende på vad som skall utföras. Vid medelvärdesbildning av flera delmätningar, löper programverket igenom grundprogrammet flera gånger.

Hjärtat i programverket är tillståndsräknaren, som alltid intar ett av sexton tillstånd och därmed anger vilket avsnitt som är aktuellt. Räknaren pekar i grindnät-1 ut den tidssignal från tidbasen, som anger hur länge avsnittet/tillståndet skall fortvara. När avsnittet är slut genererar nätet en signal som dels stegar fram räknaren till nästa tillstånd, dels återstartar tidbasen. Med tid-omkopplaren kan tiderna för de egentliga mätavsnitten väljas av operatören. Då flera delmätningar skall utföras, stegas en varvräknare var gång ett helt grundprogram har genomlöpts. Då det antal som angetts med cykelomkopplaren uppnåtts, stoppas programverket. Verket styrs med



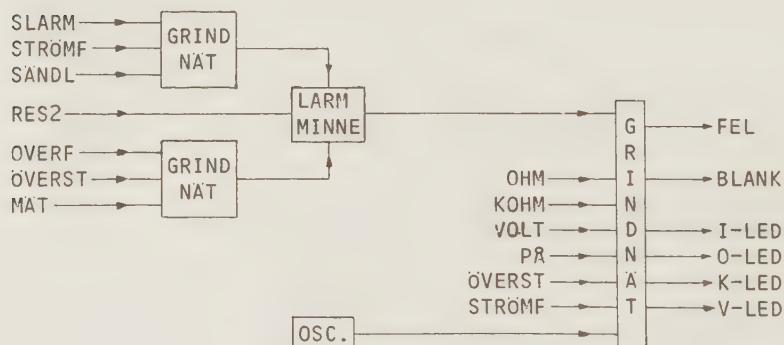
Figur 12. Programverket.

initierings- och startsignalerna: START, STOPP, och RES1. Det genererar själv programstatussignalerna: PROGR och INIT.

I grindnät-2 avkodningsnätet, kombineras de olika tillståndssignalerna till två uppsättningar sändarstyrsignaler : POLSK och SÄND. Instrumentet känner själv av om en slavenhet (högeffekt-sändare) är ansluten (SEKS=1), och styr med endera signaluppsättningen den tillämpliga sändaren. Samtidigt genereras styrsignaler till mätdelen: KORTS, MÄT och FRAM.

5.9 Larm- och indikeringsfunktioner

Jfr med figurerna 13 och 30. I ett larmminne registreras fel som kan ge upphov till felaktiga mätresultat. En vipa sätts om strömfel uppträder under pågående resistansmätning, medan en annan vipa sätts om ingångssteget överstyrs under pågående mätning. Den senare vippan sätts dessutom om räknardelen inte rymmer alla de pulser som kommer till den. Larmsignalerna kombineras med de normala mätsortindikeringarna till styrsignaler för panelens lysdioder och display. Om korrekt ström går ut genom marken då sändarknappen hålls nertryckt, tänds Ström-lysdioden som indikation på detta. Om ett mätförlopp avbryts pga strömfel, så indikeras detta efteråt genom att lysdioden börjar blinka. Blinkandet åstadkommes med hjälp av en lågfrekvens oscillator.



Figur 13. Larm och indikeringsdelen.

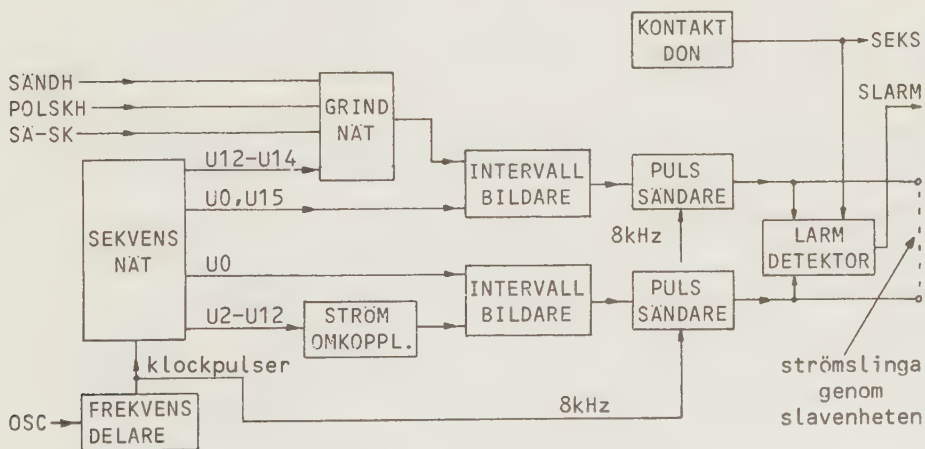
Då instrumentet är inaktivt och ingångssteget är överstyrt, indikeras detta genom att displayen blinkar. Om däremot ett mätförlopp misslyckas pga överstyrning, så visas detta efteråt genom att både displayen och den mätsortindikerande dioden blinkar. Normalt anger de mätsortsindikerande lysdioderna endast sorten på det mätresultat som återges på displayen.

5.10 Kommunikationssystemet

5.10.1 Uppgifter

Huvuduppgiften för kommunikationssystemet är att överföra order från huvudenheten (HE) till slavenheten (SE) om strömutskickning och polaritetsskiftning.

För att HE:n skall kunna beräkna resistansen, dvs kvoten mellan uppmätt spänning och utsänd ström, måste den på något sätt få reda på hur stor ström som SE:n sänder ut. Denna information får HE:n genom att operatören ställer in de båda enheternas strömvalomkopplare på samma värde. Kommunikationssystemets andra uppgift är att som kontrollåtgärd överföra information om HE:ns omkopplarinställning



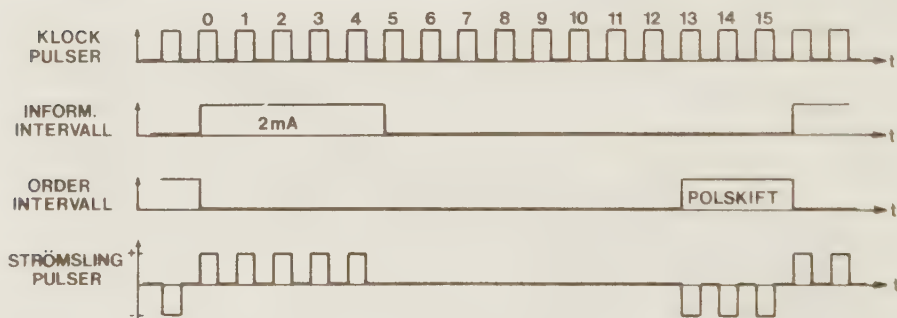
Figur 14. Huvudenhetens kommunikationsdel.

till SE:n. Ur operatörens synvinkel hade det varit bättre om information om omkopplarinställningen hade överförts från SE:n till HE:n. På detta sätt hade det räckt med att SE:ns omkopplare ställts in. Denna lösning hade i sig inte blivit väsentligt mer komplicerad ur teknisk synvinkel, men pga utrymmesskäl på kretskorten tvingades vi välja den använda lösningen.

En tredje uppgift är att om SE:n misslyckas med strömutskickningen under ett mätförlopp, så skall information om detta överföras från SE:n till HE:n.

5.10.2 Huvudenhetens kommunikationsdel

Jfr med figurerna 14 och 31. Utgångarna (U0-U15) från ett 16-utgångars sekvensnät pulsas i tur och ordning. Vissa av dessa pulser väljs ut med signalerna SÄNDH, POLSKH och SÄ-SK, medan andra väljs ut med HE:ns strömvalomkopplare. Pulserna får i tur och ordning sätta och nollställa två vippor. Längden på de intervall under vilka vipporna är satta, beror därmed i det ena fallet på om SE:n skall sända ström eller skifta polaritet och i det andra på den valda strömmen. I figur 15 illustreras pulssambanden för ett fall. Intervallen är som synes varandra uteslutande, och upprepas periodiskt för varje 16-pulsers cykel som sekvensnätet löper igenom.



Figur 15. Tidssambanden mellan huvudenhetens kommunikationsdels signaler. Klockpulser och intervall är logiska nivåer. Strömslingpulserna är positiva och negativa strömpulser.

I de två pulssändarna moduleras intervallsignalerna så att det bildas två pulståg vars längder blir proportionella mot intervallen. I tabell 1 redovisas innebörden av antalet pulser i resp pulståg, och i figur 15 illustreras pulstågens samband med intervallen.

Fysiskt sett innebär utsändandet av en puls, att den aktiva sändaren drar en ström genom strömslingan från den passiva sändaren. I och med att strömriktningen genom strömslingan blir olika för de två sändarnas pulser, kan SE:n skilja styrorder från ströminformation.

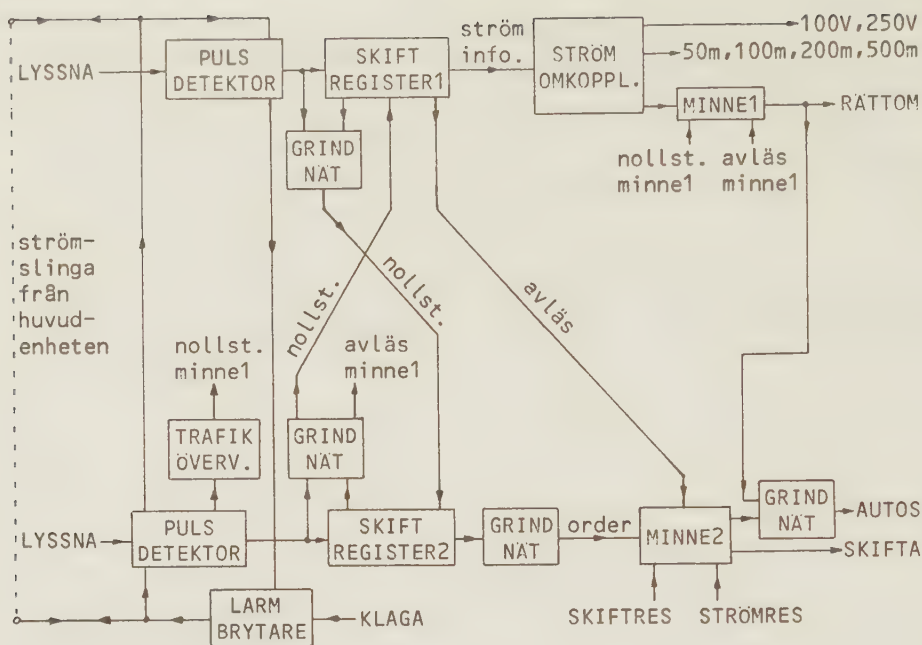
Tabell 1. Specifikation av strömslingpulsernas innebörd

PULSANTAL	INNEBÖRD
(positiva)	
1	-
2	0,2
3	0,5
4	1
5	2
6	5
7	10
8	20
9	50
10	100
11	200
12	500
(negativa)	
1	vila
2	sänd ut ström
3	skifta polaritet
4	sänd och skifta

SE:n meddelar sig med HE:n genom att bryta strömbanan i ena strömriktningen. Detta detekteras därpå av HE:ns larmdetektor.

5.10.3 Slavenhetens kommunikationsdel

Jfr med figurerna 16 och 32. Strömpulserna i strömslingan detekteras i endera av två pulsdetektorer, i den ena avkänns informationspulser och i den andra orderpulser. Orderpulserna skiftar in en eller flera konsekutiva ettor i skiftregister 2. Dessa ettor avkodas därefter till eventuella strömsändnings- och polaritetsskiftningssignaler. Ströminformationspulserna skiftar i sin tur in en i:a ett antal steg i skiftregister 1. Med hjälp av strömvalsomkopplarens läge konstateras om ettans läge motsvarar rätt strömvärde, dvs om de båda enreternas strömomkopplare är inställda på samma värde. Så snart ett pulståg med ny polaritet kommer in till detektorerna, så registreras resultatet av det förra pulståget, varpå dess skiftregister nollställs. Ett pulståg till register 1 medför sålunda att de avkodade ordena i register 2 registreras och att registret nollställs så att det kan ta

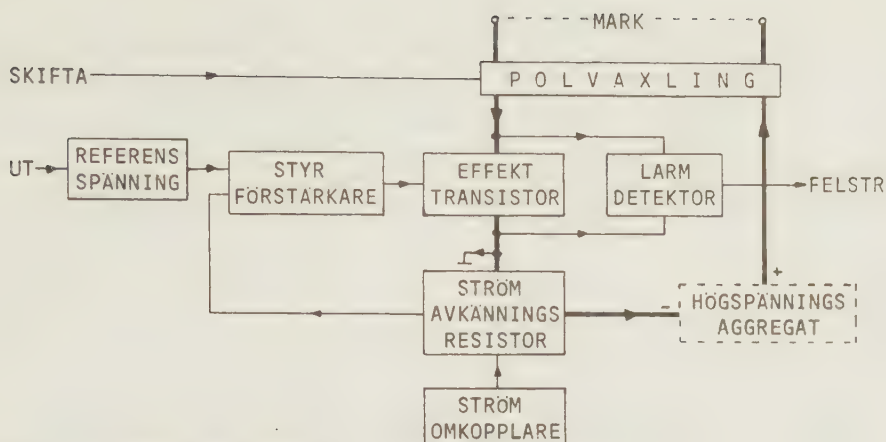


Figur 16. Slavenhetens kommunikationsdel.

emot ett nytt orderpulståg. På detta sätt överförs kontinuerligt information och order till SE:n. Av säkerhetsskäl, så vidarebefordras inte de registrerade strömsändnings- och polaritetsskiftningssignalerna till högeffektsändaren, förrän två på varandra följande pulståg med samma information har avkodats och registrerats. SE:n sänder larm om misslyckad strömsändning till HE:n genom att med signalen KLAGA bryta upp strömslingan för pulståg i ena riktningen.

5.11 Högeffektsändarens Effektdel och Reglerdel

Jfr med figurerna 17 och 33. Dessa delar är uppbyggda på samma sätt som lågeffektsändarens motsvarande delar. De enda skillnaderna är att högeffektsändaren är dimensionerad för högre strömmar och spänningar,



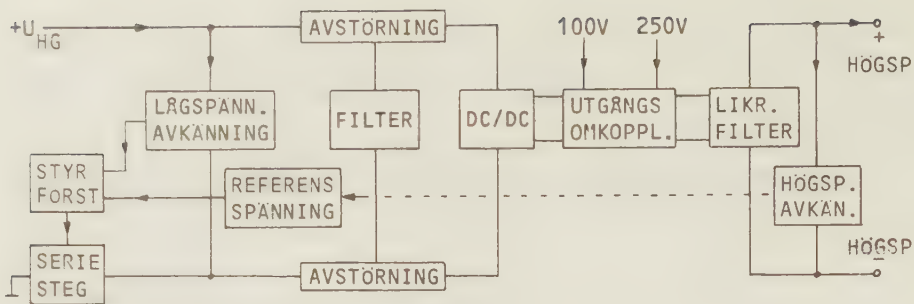
Figur 17. Högeffektsändaren.

samt att den inte har ett eget från övriga enheter galvaniskt skilt spänningssystem.

5.12 Högspänningsaggregatet

Jfr med figurerna 18 och 34. Batterispänningen omvandlas till nominellt 100, 250 eller 500 volt i högspänningsaggregatets DC/DC-omvandlare. Eftersom aggregatet skall kunna strömförsörjas med spänningar mellan 10,8 och 18 volt, stabiliseras batterispänningen till c:a 10 volt innan den ansluts till DC/DC-omvandlaren. Denna får härigenom goda och jämna arbetsbetingelser. I stabiliseringsdelen jämför styrförstärkaren den stabiliserade spänningen med en referensspänning, och styr sedan via drivsteget två serieregleringstransistorer så att DC/DC-omvandlaren matas med konstant spänning.

Då uteffekten från slavenheten skall vara begränsad till 50 watt, får utspänningen inte vara större än 250 resp 100 volt då utströmmen är 200 resp 500 milliampere. Styrdelen begränsar spänningen genom att med reläer ansluta olika sekundärlindningar på DC/DC-omvandlaren till



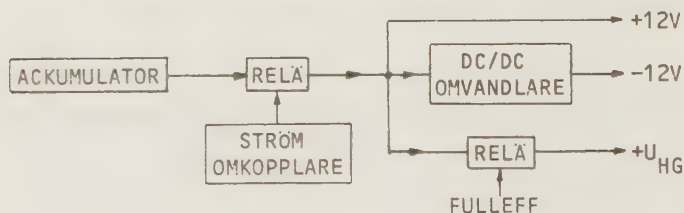
Figur 18. Högspänningsaggregatet.

likriktar- och filterdelen. Dessa reläer styrs med de digitala signalerna 100V och 250V.

En nackdel med omvandlaren är att dess utspänning kan öka kraftigt om ingen last är ansluten, jfr referens 1. Som säkerhetsåtgärd minskas därför referensspänningen och därmed även omvandlarens primär- och sekundärspänningar, då utspänningen tenderar att bli större än 600 volt. Eftersom omvandlarens in- och utgångar skall vara galvaniskt skilda, utförs styrningen av referensspänningen via en optokopplare.

5.13 Strömförsörjningsdelen

Jfr med figurerna 19 och 35. Slavenheten drivs liksom huvudenheten med en 10-pack 1,25 volts NiCd-ackumulatorer. Så snart strömvalsomkopplaren inte står i läget "AV", ansluts dessa till strömdistributionssystemet med ett relä. I en DC/DC-omvandlare kompletteras batterispänningen med en -12 voltspänning. I syfte att spara ström är högspänningsaggregatet normalt avstängt. Först då



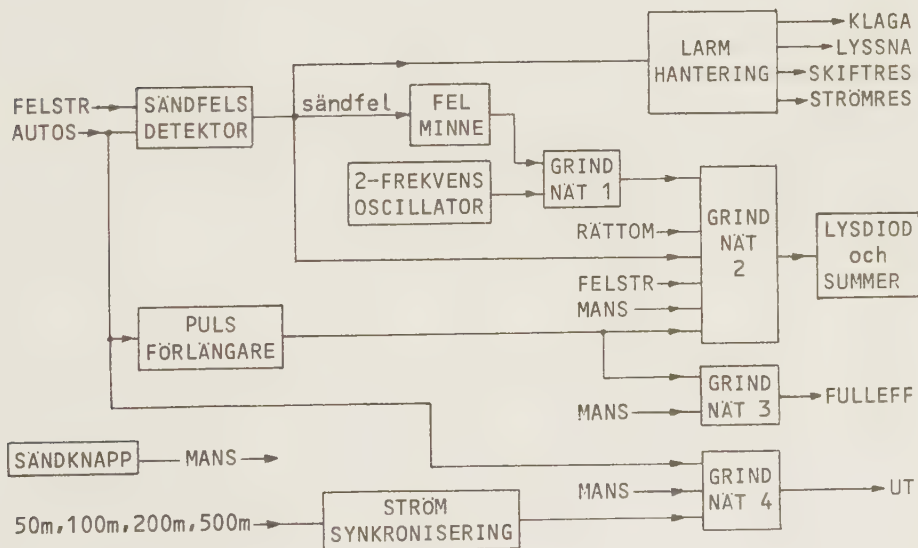
Figur 19. Strömförsörjningsdelen.

slavenheten skall sända ut ström, så ansluts spänningen till högspänningsaggregatet. Detta sker med ett relä som styrs med signalen FULLEFF.

5.14 Styr och larmdel

Jämför med figurerna 20 och 36. Strömutskickning från SE:n kan initieras antingen av HE:n via kommunikationsdelen (AUTOS=automatisk skickning), eller av att SE:ns SÄND-knapp trycks ner (MANS=manuell skickning). I båda fallen bildas signalerna FULLEFF och UT, vilka startar högspänningsaggregatet resp strömsändaren (Grindnäten 3 och 4).

Pulsförlängaren medför att då flera skickorder kommer i tät följd från HE:n, så omvandlas motsvarande AUTOS-pulser till en lång sammanhängande puls. På detta sätt kopplas inte högspänningsaggregatet på och av mer än en gång, vilket eliminerar onödiga in- och urkopplingstransienter.



Figur 20. Styr och larmdel.

Under de ögonblick då högspänningsaggregatets utgång kopplas om mellan 100, 250 resp 500 volt, måste strömsändaren stängas av. Annars kommer reglertransistorerna lätt in på otillåtna delar av sitt SOAR-diagram. I strömsynkroniseringsdelen detekteras de aktuella omkopplingsögonblicken direkt från strömomkopplaren med signalerna 50m - 500m, och vid behov blockeras STRÖM-signalen.

Om ett mätförlopp startas, och strömsändaren efter en kort stund inte har lyckats nå upp till korrekt strömstyrka (FELSTR= 1), så bildas en larmsignal: SÄNDFEL. Denna signal registreras i felminnet och aktiverar larmhanteringskretsen. Den senare larmar huvudenheten genom att med KLAGA bryta strömslingan. Med signalerna LYSSNA, STRÖMRES och SKIFTRES blockeras och nollställs kommunikationsdelen för en kort stund. Först sedan ett nytt automatiskt eller manuellt sändförsök utförts, återställs felminnet.

Som indikatorer för operatören är Slavenheten försedd med en lysdiod och en summer, vilka styrs via grindnät 2. Då enheten är inaktiv och strömvalsomkopplarna på de båda enheterna är lika inställda, blinkar lysdioden och ljuder summern i en lugn och långsam takt. Då felminnet aktiveras efter ett misslyckat sändningsförsök, övergår de till en snabbare och hetsigare takt. De används också för att indikera att korrekt ström går ut under ett automatiskt sändförlopp eller då operatören med hjälp av sändknappen provar olika lägen för strömvalsomkopplaren. Detta gör de genom att lysa och ljuda kontinuerligt.

6 RESULTAT OCH KOMMENTARER

Då prototypinstrumentet betar sig i enlighet med förväntningarna, torde de digitala delarna vara korrekta. Vissa delar kan konstrueras enklare, men i allmänhet minskar detta modulariteten och därmed möjligheterna att helt eliminera en funktion.

Noggrannheten på strömsändardelarna är utmärkt, beroende på att stabila och trimbara referensspänningar har använts. Den känsligaste delen i övrigt är strömvkänningsresistorerna. De i prototypen använda har en onoggrannhet på mindre än 0,1%. Detta är alltför bra, och är betingat av svårigheter med att få tag på lagom noggranna resistorer. Pga resistansen i kretskortets kopparfolie erhålls ett fel på upp till 0,3%, då den utsända strömmen är som störst, dvs 0,2 resp 0,5 ampere. På övriga strömområden är felet i allmänhet 1 eller 2 promille.

Mät delen har testats genom resistansmätningar på 0,1 procentiga resistorer. Eftersom de skalfaktorbestämmande resistorerna i enheten är speciellt utprovade, har det största fel som detekterats varit 1 promille utöver det fel som orsakas av strömsändaren.

I referens 2 analyseras hur störningar kan undertryckas i ett instrument som är uppbyggt på detta sätt. För att dessa egenskaper skall kunna utnyttjas till fullo måste tidbasen vara mycket stabil, varför framtida konstruktioner bör förses med en kristallstyrd oscillator som tidbas.

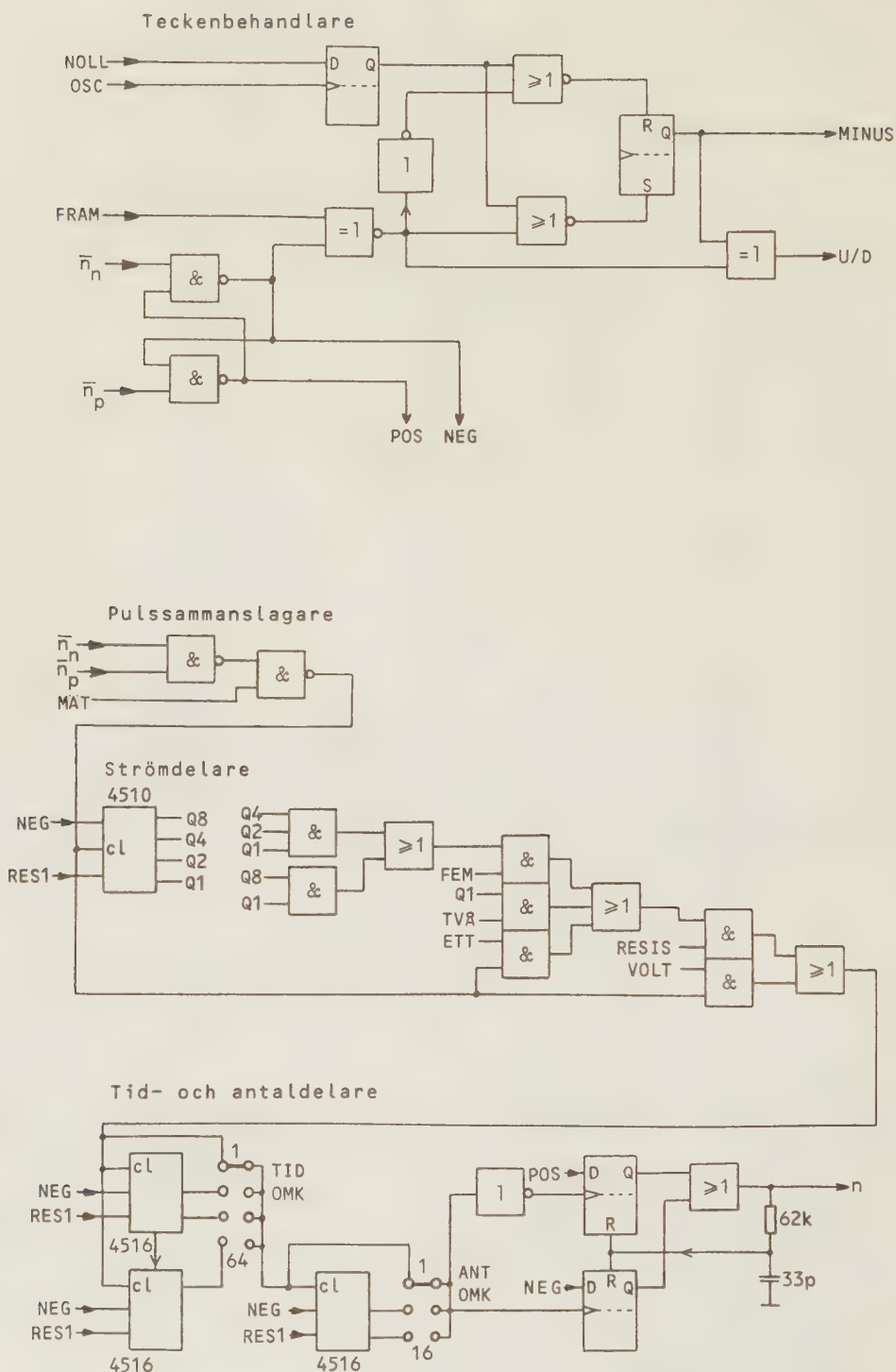
Vid jämförande provmätningar med ABEM:s tidigare produkter, infriade prototypen de förväntningar som ställts på den. Prototypen är betydligt enklare att använda, och ger jämnare mätserier och bättre upplösning. Eftersom fältmätningarna inte utfördes av Avd för Elektronik, kan några utförligare testprotokoll inte presenteras här. Beställaren av prototypen, ABEM, var dock helt nöjd med resultatet. Vid senare prov, rapporteras två problem ha yppat sig. Vid regnig väderlek orsakar fukt på mätpanelen att ström läcker från

sändarkontaktionen till mätkontaktionen, så att mätvärdet påverkas. Vidare kan utgångstransistorerna på slavenheten gå sönder, om man under pågående strömutprovning bryter strömbanan under en kort stund, och därpå sluter den igen. Ett sätt att eliminera denna felfunktion, är att införa en blockeringsmekanism som förutsätter en ny sändknappnedtryckning efter ett strömbanebrott.

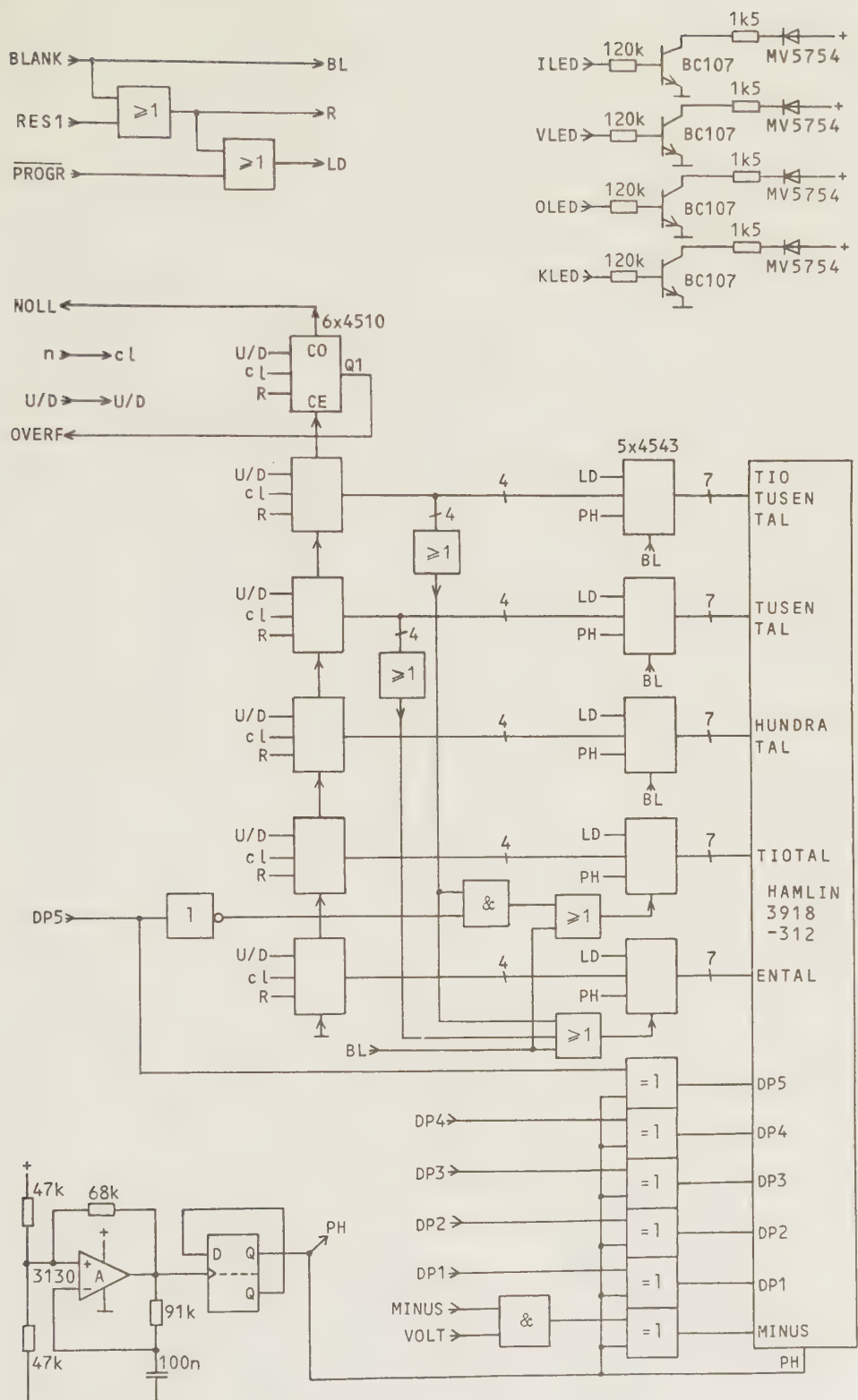
Instrumentet demonstrerades av ABEM vid EAEG:s Geofysiska konferens i Dublin sommaren 1978, varvid det rönt stort intresse. När ABEM under hösten 1978 diskuterade produktionsanpassning av instrumentet, bestämde man sig för att utföra de digitala delarna med mikrodator. De analoga delarna förenklades och testades delvis av Avd för Elektronik under hösten 1978, och det är dessa senare versioner som har beskrivits i denna rapport. De har också efter smärre förändringar använts i ABEM:s nuvarande jordresistansmätande instrument: SAS300.

7 REFERENSER

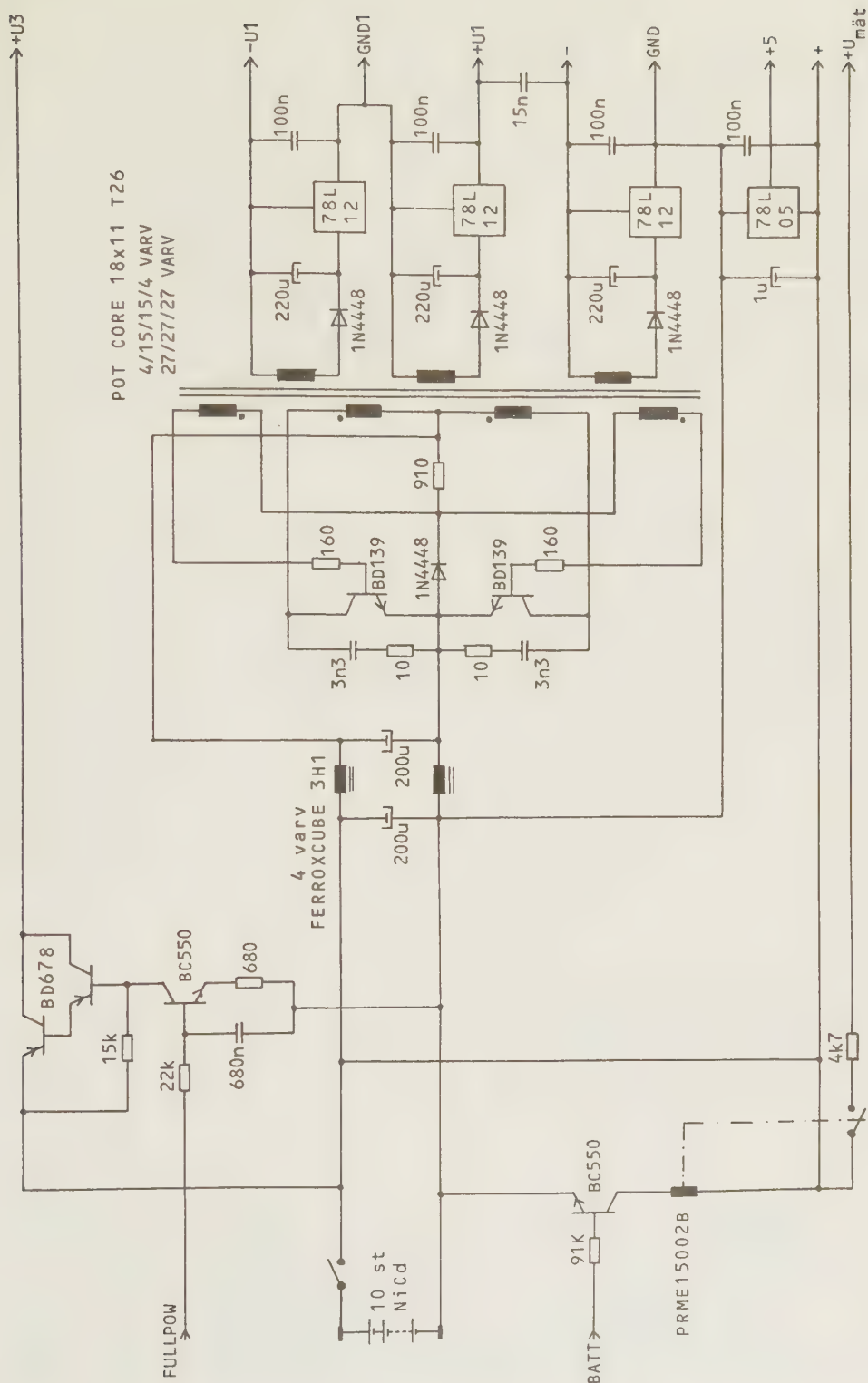
- Ref 1 JRM1 - ett prototypinstrument för jordresistansmätningar.
Brauer S. och Krill P.
Rapport AE2-79, Fysiska institutionen, Avd för Elektronik,
Lund 1979.
- Ref 2 Principer och egenskaper hos integrerande mätton,
avsedda för jordresistansmätningar.
Krill P.
Rapport AE1-80, Fysiska institutionen, Avd för Elektronik
Lund 1980.
- Ref 3 What is signal averaging
Trimble C.R.
Hewlett Packard Journal. Vol 19 (1968) 8 april p 2-7
- Ref 4 Björn Thornkvist.
ATLAS COPCO ABEM AB.
Bromma
- Ref 5 Mät och regler-system för ackumulatorprovning. Sid IV-15.
Alvsten B
Doktorsavhandling
Lund 1974



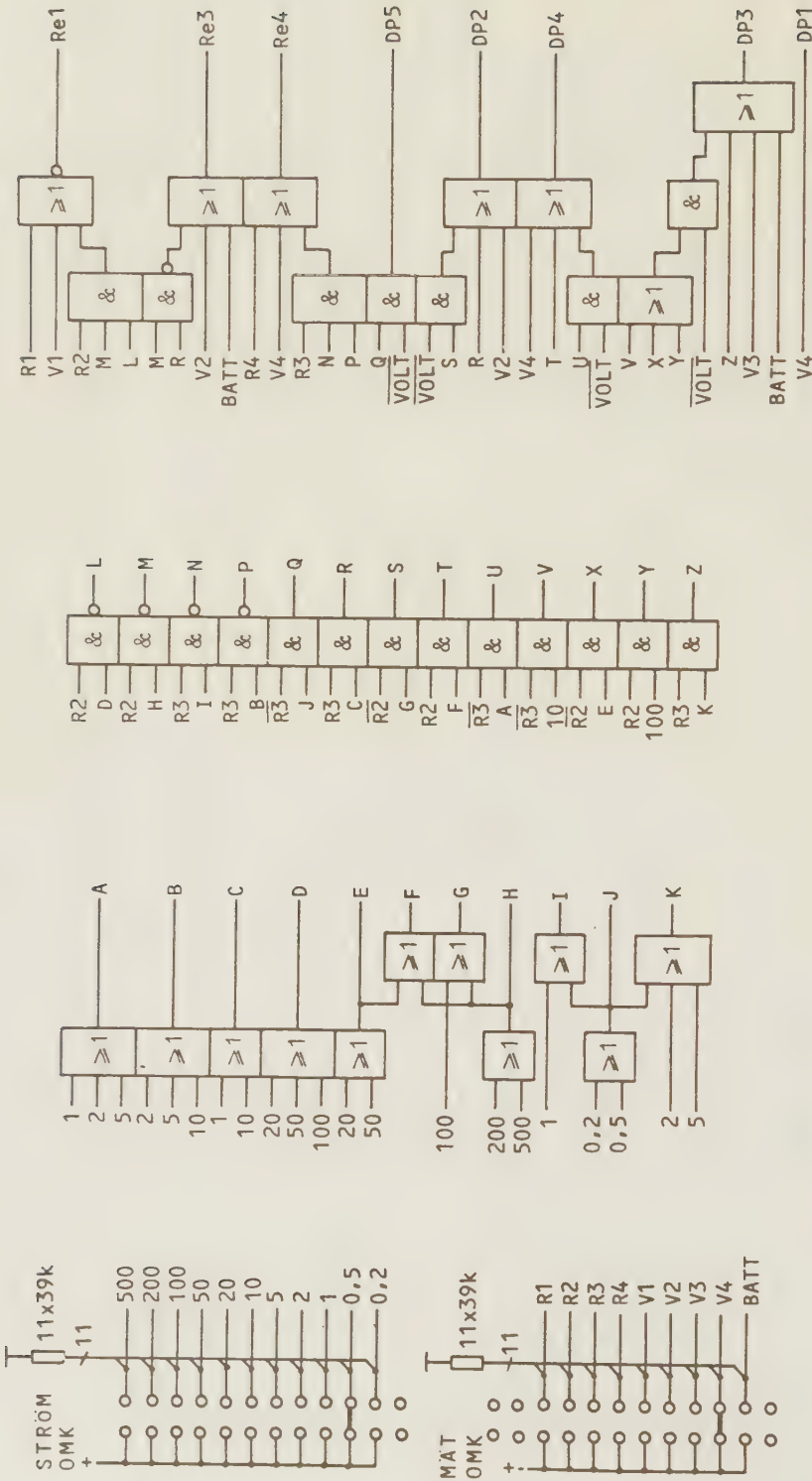
Figur 23. Digital bearbetning.



Figur 24. Räkare och displaydel.

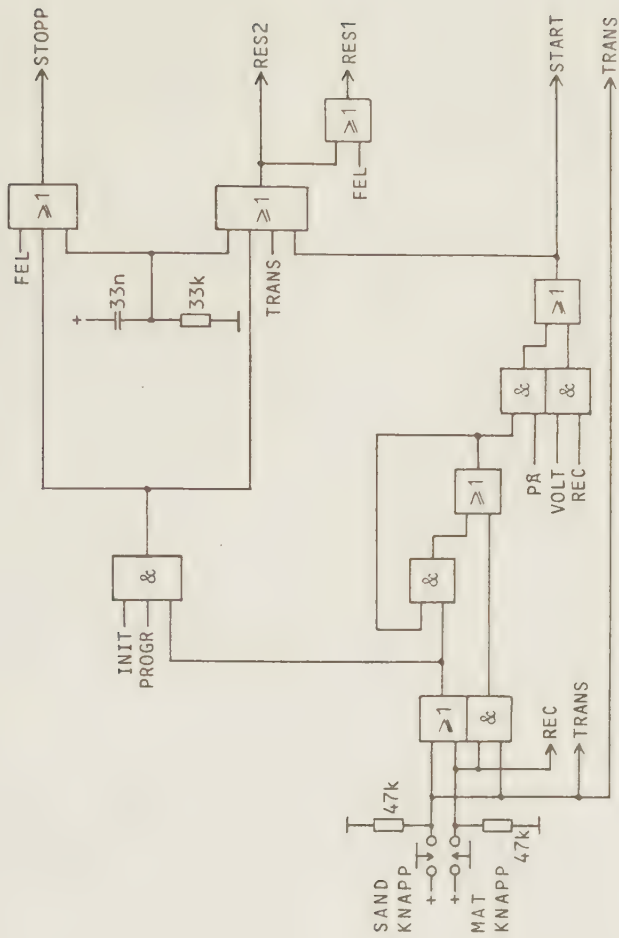
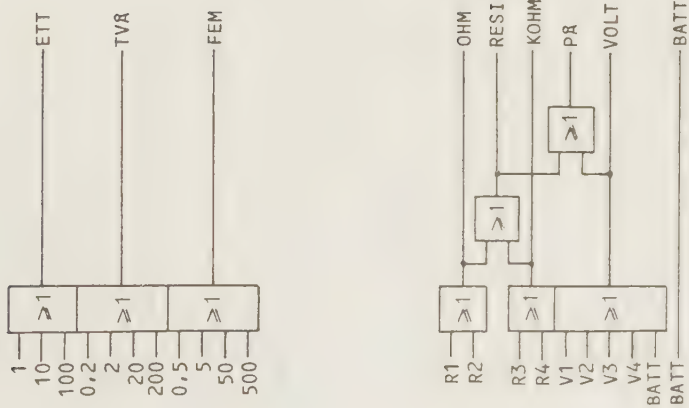


Figur 26. Huvudenhetens strömförsörjningsdel.

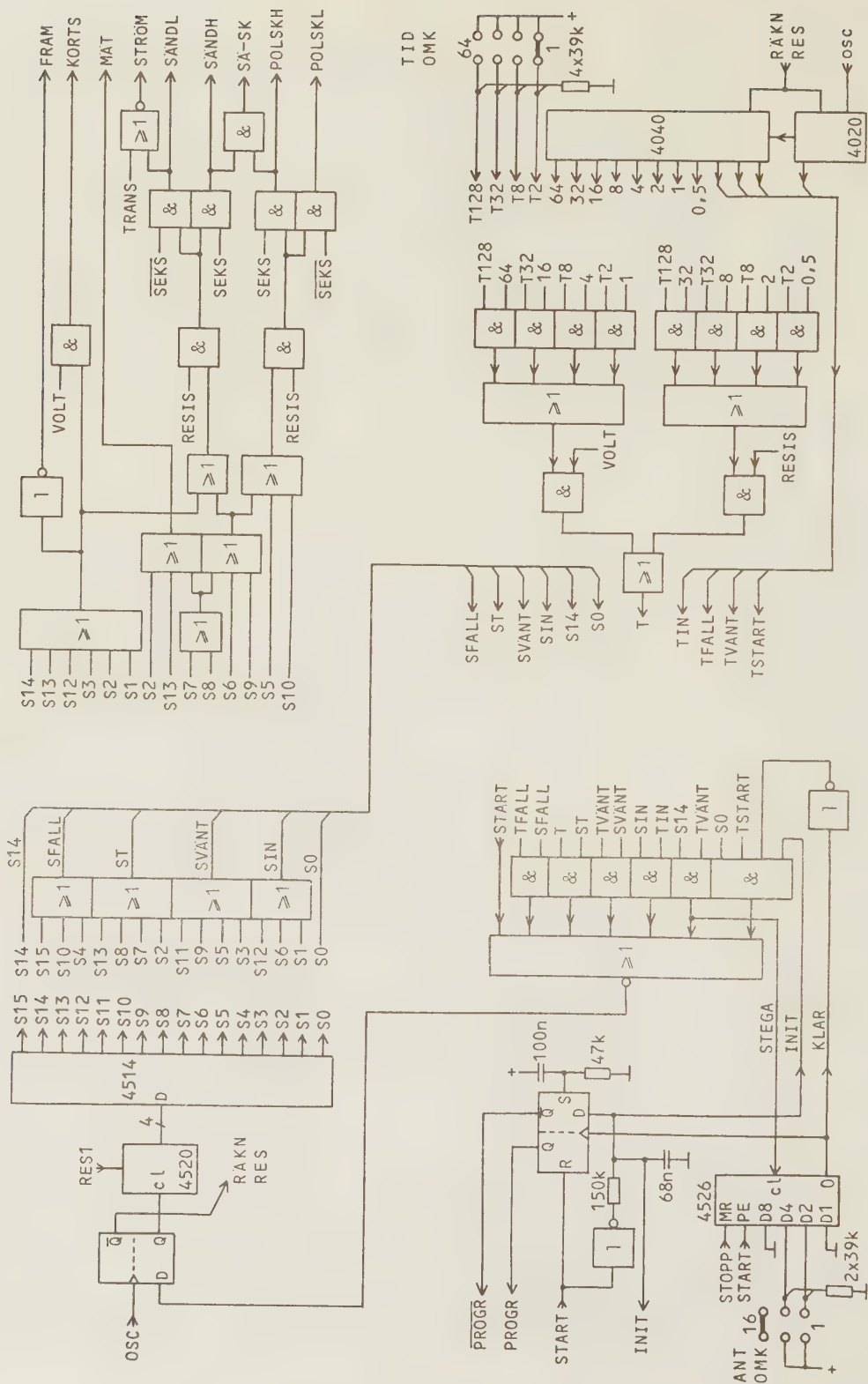


$$\begin{aligned} \overline{\text{Re1}} &= \text{R1} + \text{V1} + \text{R2} \cdot \overline{20} \cdot \overline{50} \cdot \overline{100} \cdot \overline{200} \cdot \overline{500} \\ \text{Re3} &= \text{V3} + \text{BATT} + \text{R3} \cdot (2+5+10) + \text{R2} \cdot (200+500) \\ \text{Re4} &= \text{R4} + \text{V4} + \text{R3} \cdot \overline{0} \cdot \overline{2} \cdot \overline{0} \cdot \overline{5} \cdot \overline{1} \cdot \overline{2} \cdot \overline{5} \cdot \overline{10} \\ \text{DP1} &= \text{V1} \\ \text{DP2} &= \text{V2} + \text{R3} \cdot (1+10) + \overline{\text{VOLT}} \cdot \overline{\text{R2}} \cdot (100+200+500) \\ \text{DP3} &= \text{V3} + \text{BATT} + \text{R3} \cdot (0,2+0,5+2+5) + \overline{\text{VOLT}} \cdot (\text{R2} \cdot 100 + \overline{\text{R2}} \cdot (20+50) + \overline{\text{R3}} \cdot 10) \\ \text{DP4} &= \text{V4} + \text{R2} \cdot (20+50+200+500) + \overline{\text{VOLT}} \cdot \overline{\text{R3}} \cdot (1+2+5) \\ \text{DP5} &= \overline{\text{VOLT}} \cdot \overline{\text{R3}} \cdot (0,2+0,5) \end{aligned}$$

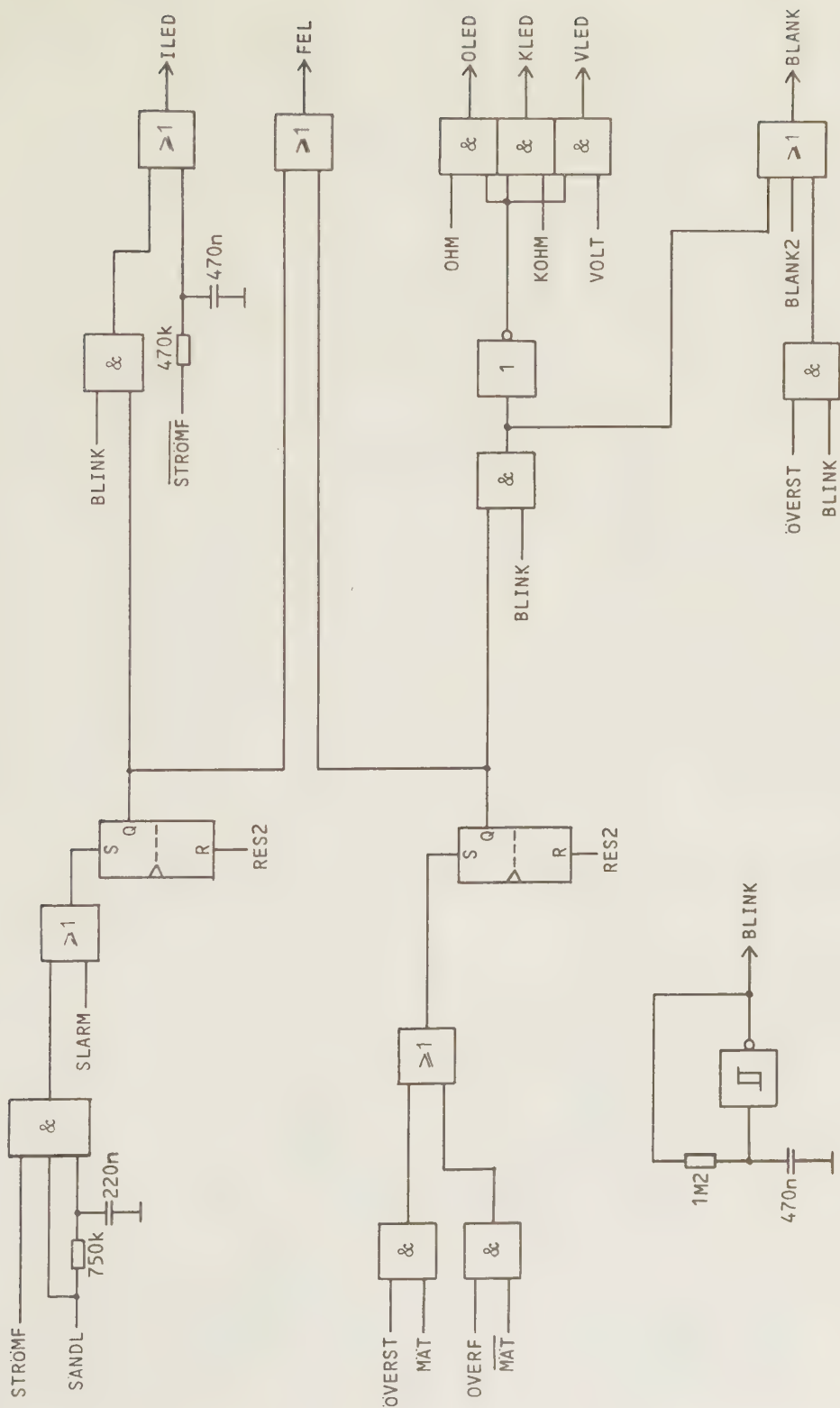
Figur 27. Avkodningsdel 1.



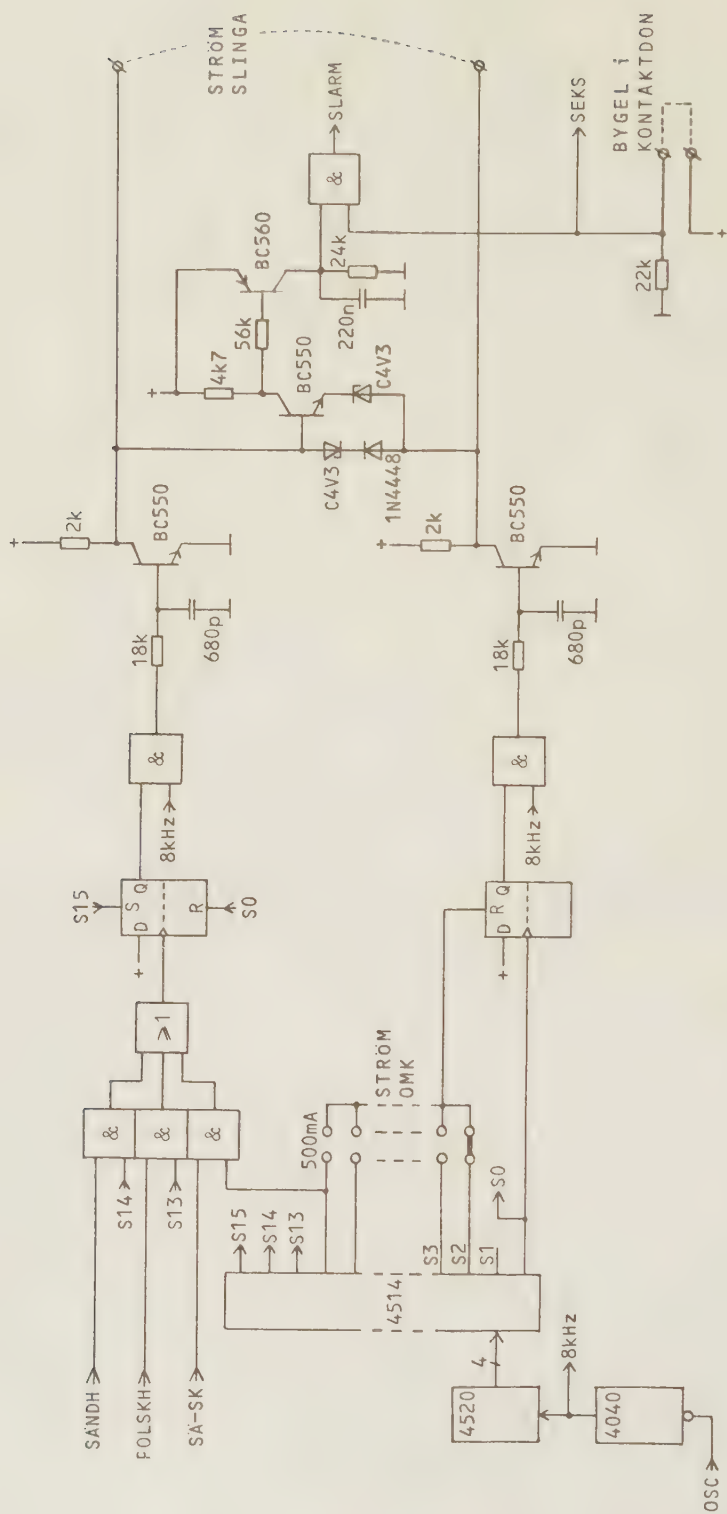
Figur 28. Avkodningsdel 2.



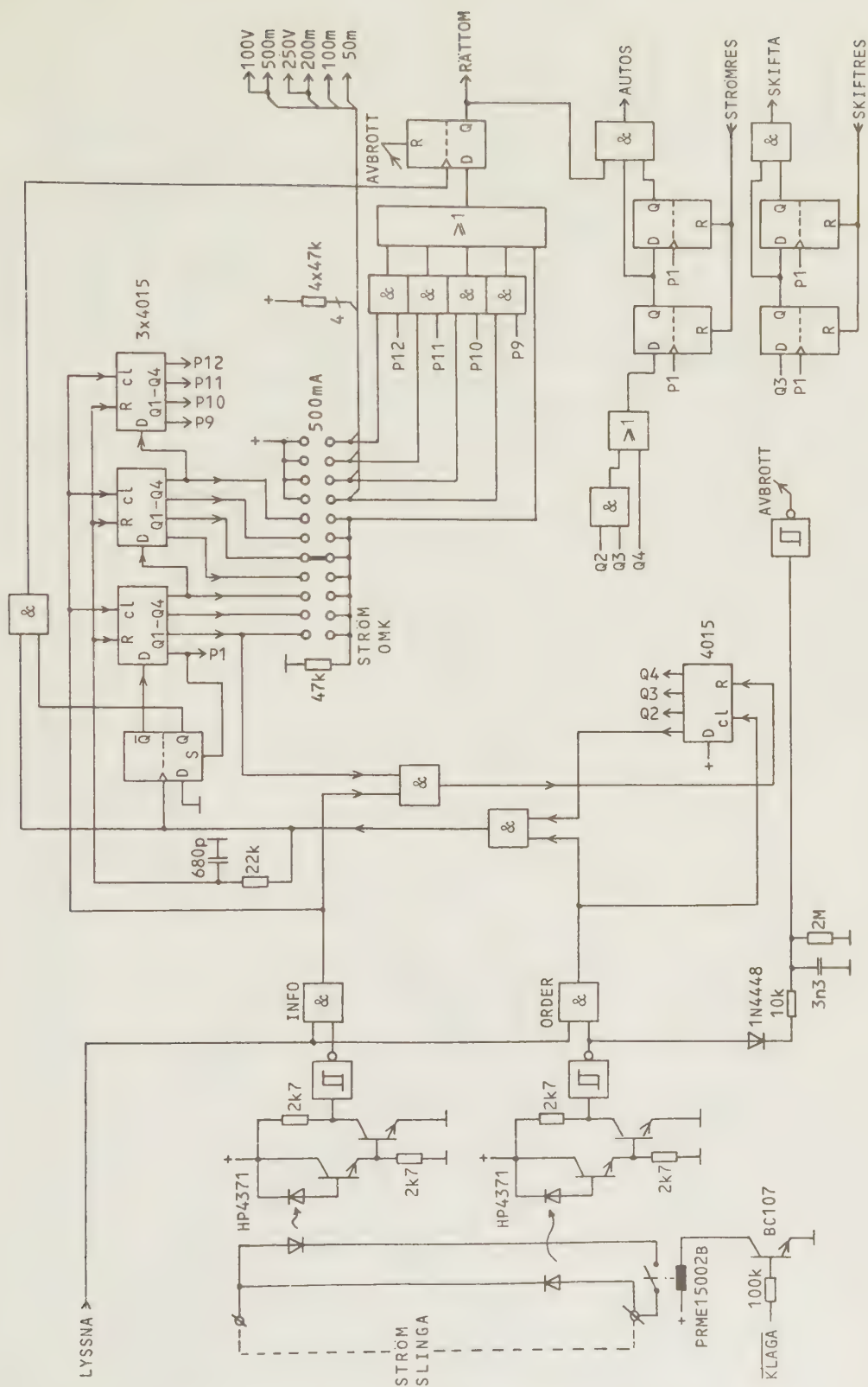
Figur 29. Programverk.



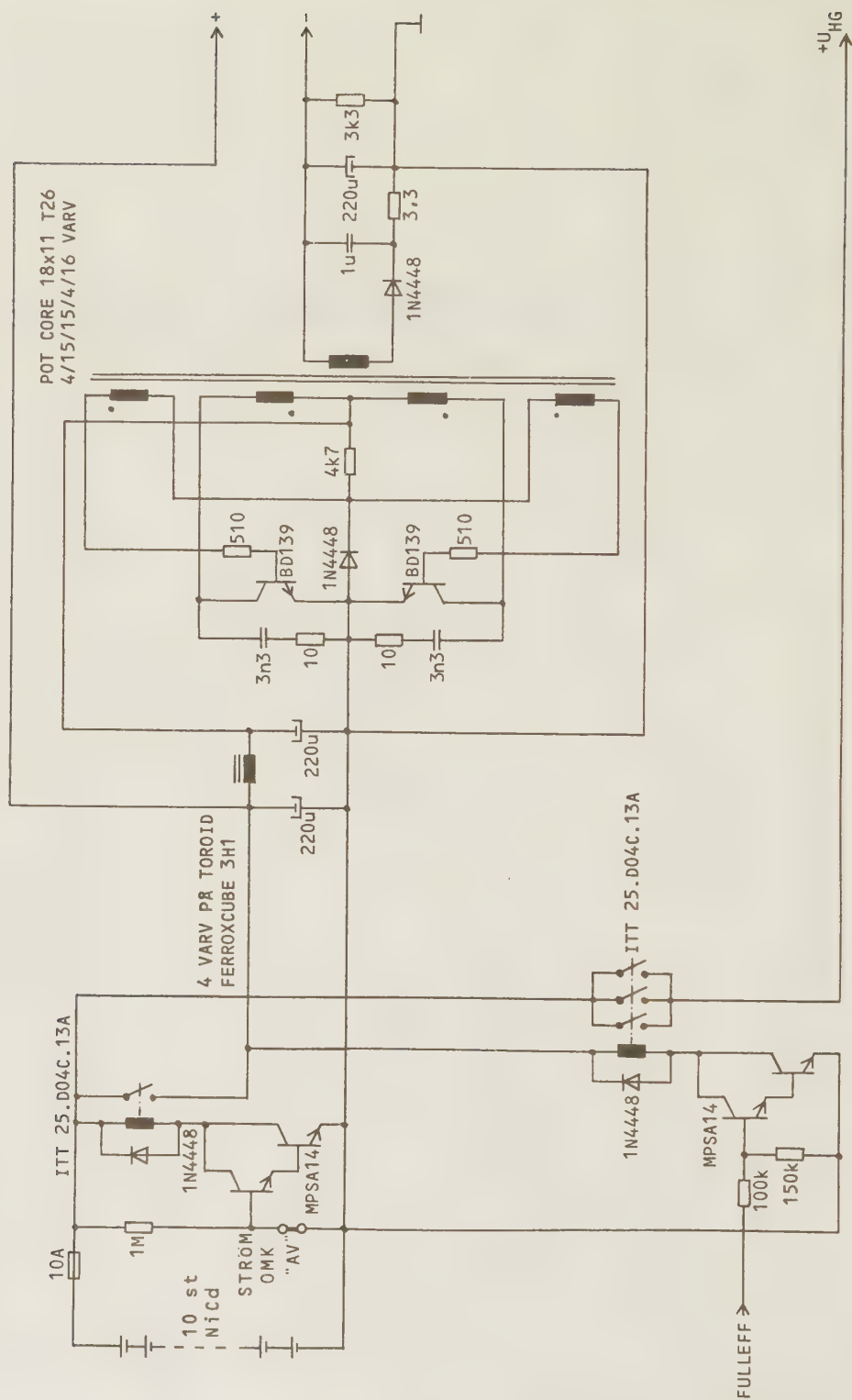
Figur 30. Larmdel.



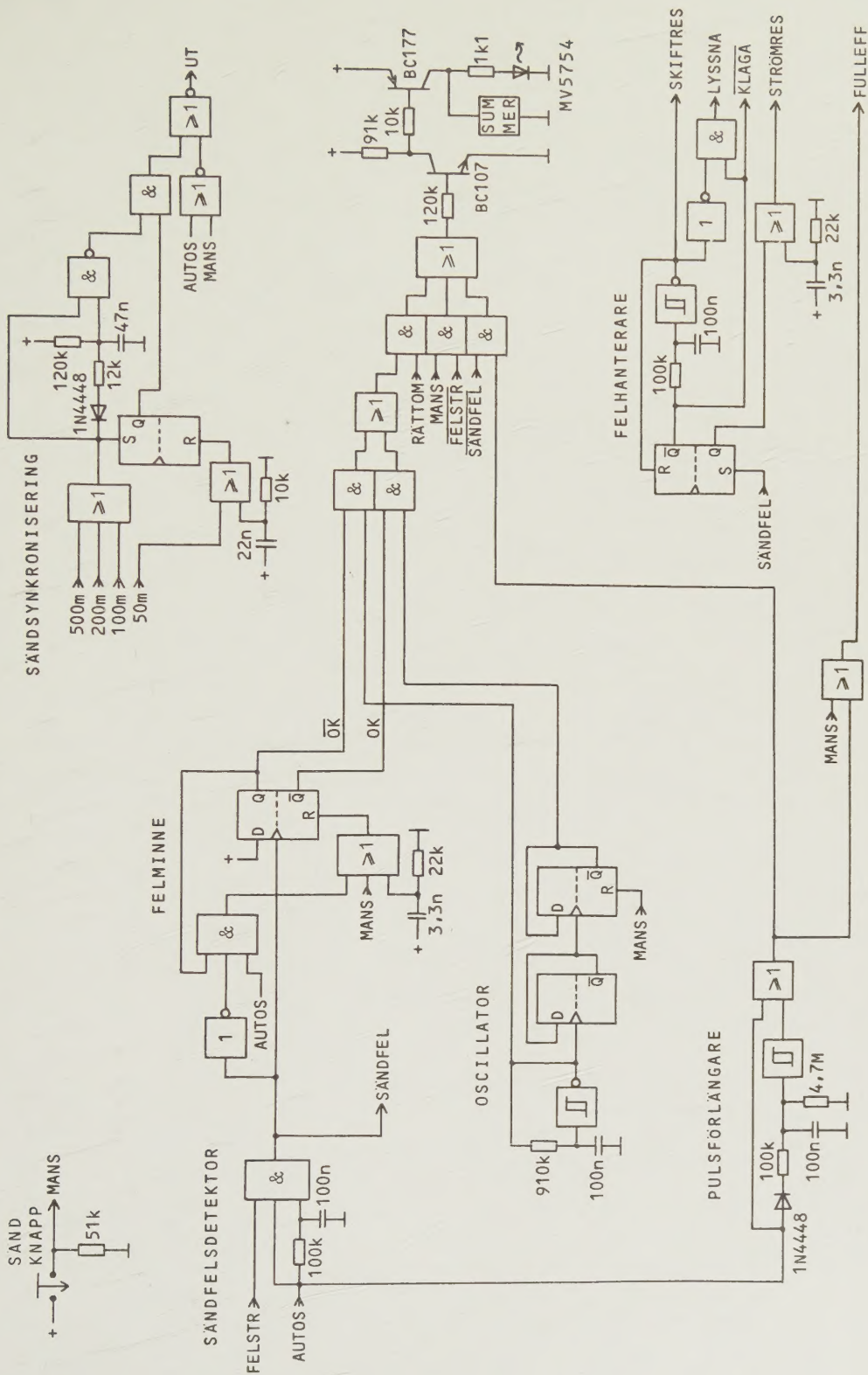
Figur 31. Huvudenhetens kommunikationsdel.



Figur 32. Slavenhetens kommunikationsdel.



Figur 35. Slavenhetens strömförsörjningsdel.



Figur 36. Slavenhetens styr- och larmdel.



